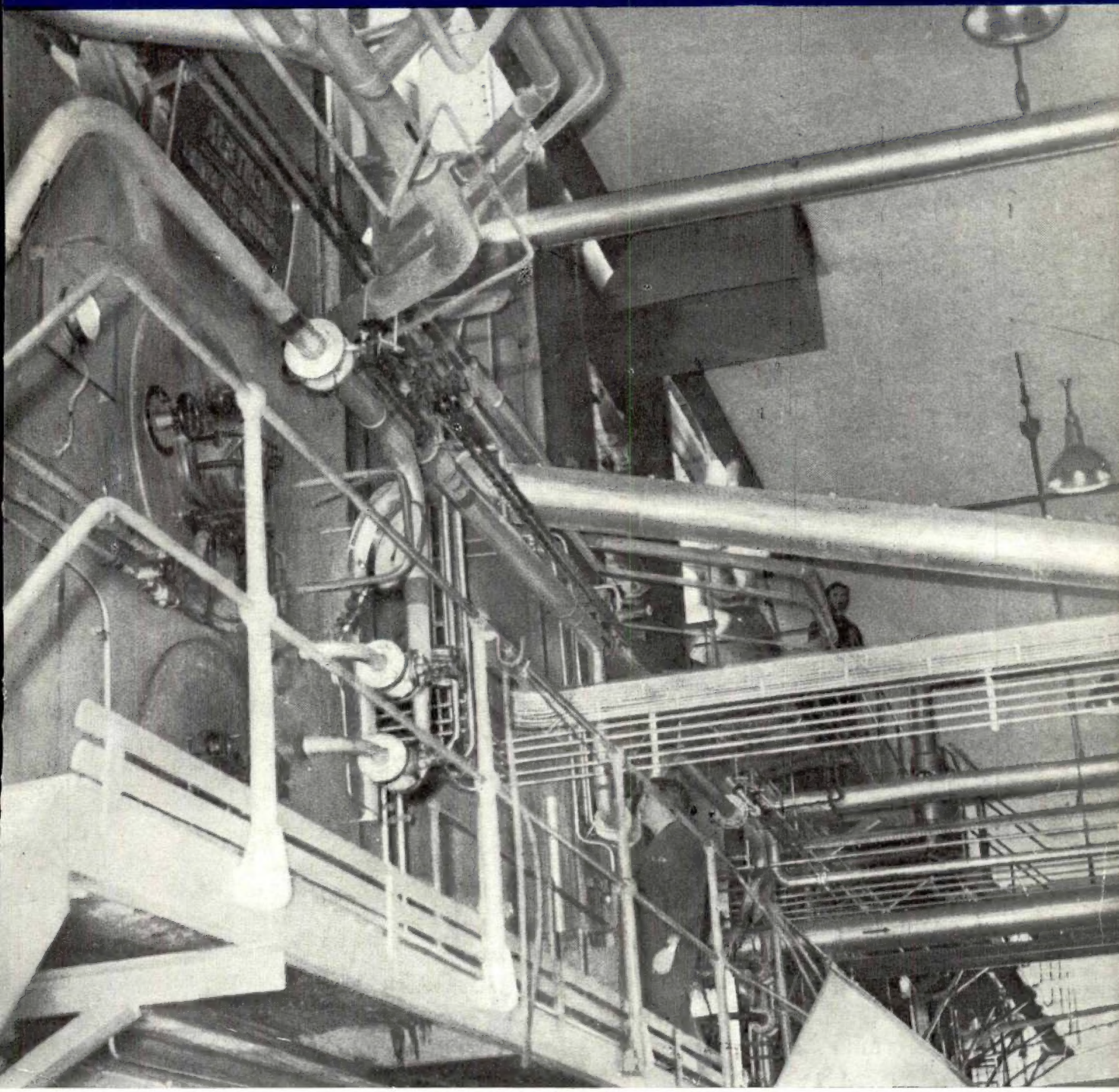
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I. S. T.

N.º 254 - JULHO - 1955

CIMENTO SECIL

O CIMENTO PARA OBRAS DE GRANDE RESPONSABILIDADE

4 fornos rotativos — 300.000 toneladas anuais

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 63649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 42
TELEF. 47812-50129
LISBOA

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXIX - N.º 254 Julho de 1955

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 0144 (Linha 50)

DIRECTOR

FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

ADMINISTRADORES

VIRGÍLIO CARDOSO IGREJA

JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA

SECRETÁRIO

JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO

CORPO REDACTORIAL

ADELINO JOSÉ SOARES DE MELO

JOÃO PEDRO MOTA E MELO

MANUEL M. FRIAS DE ALMEIDA E SÁ

VIRGÍLIO LOPES CABRITA

*

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Espanha	—	55$00	100$00
Estrangeiro	—	60$00	110$00

*

EDITOR E PROPRIETÁRIO

ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

*

COMPOSTO E IMPRESSO

NA

Tip. JORGE FERNANDES, L.DA

RUA CRUZ DOS POIAIS, 103

LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Vista parcial das 3 Caldeiras Alsthom — 24 T/h, 50 Kg/cm² — instaladas na Central Termoeléctrica da Sacor — Cabo Ruivo.

Págs.

As geodésicas na definição das curvaturas duma superfície

Pelo Doutor Mira Fernandes 557

Algumas notas sobre metalurgia do cobre — Factores relacionados com o rendimento térmico da fusão e da refinação

Pelo Eng.º Quím.-Ind. Virgílio Rui Teixeira Lopo 561

Determinação das propriedades termodinâmicas dos gases reais

Pelo Eng.º Quím.-Ind. (I. S. T.) António Sales Luís 567

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 572

Problemas da via férrea moderna

Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) Eduardo Ferrugento Gonçalves . . 573

Bobinas térmicas. Alguns factores que influenciam o o seu comportamento

Por Maria Luísa Bernardo Luz 578

Sobre o projecto de um grupo turbo-compressor de sobrealimentação para um motor Diesel a dois tempos — Estudo efectuado na Sala de Construção de Motores do I. S. T.

por Adelino José Rodrigues Soares de Melo, Fernando Alberto Carneiro Marques de Oliveira e José Carlos Pinto Soromenho Viana Baptista 581

Do Mundo Técnico 604

Biblioteca 608

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SAO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

A. Gestetner, Ltd.ª . . . . . .
A. Lopes da Silva XIX
Agência Geral de Material Eléctrico, Ltd.ª . . . . . XX e XXVIII
Ahlers, Lindley, Ltd.ª XIV
Alfredo Alves XXXIII
António Baró XXIX
Azevedo & Pessi, Ltd.ª XXIX

B

Bethlehem Steel . . . . . .
Blackwood Hodge XXXI
Bouhon & Irmão, Ltd.ª XXIX

C

Canelas & Figueiredo, Ltd.ª XVI
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia «Cimento Tejo» . . . . .
Companhia de Cimentos Brancos . . II
Companhia Portuguesa dos Petróleos BP . . . . . .
Companhia União Fabril X
Construções Técnicas, Ltd.ª II
C. Santos, Ltd.ª . . . . . XXXII e XXXVI

E

Edmond Dardel V
Edouard Dalphin . . . . . 4.ª da capa
Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . 2.ª da capa
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª . . . . . XXI e XXVI
Empresa de Cimentos de Leiria . . . XXXV
Empresa Electro Cerâmica XXXV
Empresa de Produtos Asfálticos . . . XXVI
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Estabelecimentos Herold, Ltd.ª . . . XXXIV

F

Fábrica Metalúrgica e Construtora CARAVELA, Ltd.ª XXV
Fábrica Portugal XXVII
Fundição e Construção Mecânicas IV

G

General Electric Portuguesa XXI

H

Henriques & Castro, Ltd.ª VIII
Horácio Alves . . . . . .

I

Pág.

IST XXXVII

J

J. E. Michaëlis de Vasconcellos (Eng.º) XV
J. J. Gonçalves, Sucrs. XXXIX
Jayme da Costa, Ltd. XVII

L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª XI

M

Mabor XXXIX
Manil VIII
Máquinas de Precisão, Ltd.ª X
Martin, Leslie & C.ª Ltd IV
Monteiro Gomes, Ltd.ª . . . . . IX e XXX

N

Nordberg . . . . . .

P

P. Bellasi . . . . . .
Papelaria Fernandes XIII
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

S

Senna, Botto & Leitão, Ltd.ª XXIV
SKF XV
SMEIA . . . . . VI e XXXVIII
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Ericsson de Portugal, Ltd.ª VII
Sociedade Industrial Metalúrgica .
Sociedade dos Mármores de Portugal, Ltd.ª . . . . . .
Sociedade Portuguesa do Acumulador Tudor . . . . . .
Sociedade Portuguesa Cavan . . . . 2.ª da capa
Socony-Vacuum Portuguesa XII
SOMEC . . . . . .
SOMIPA XIX
Sondagens Ródio, Ltd.ª X
SOPECATE XXXIX
SOPREM XXIII
Standard Eléctrica XXII

T

Technoimpex XVIII

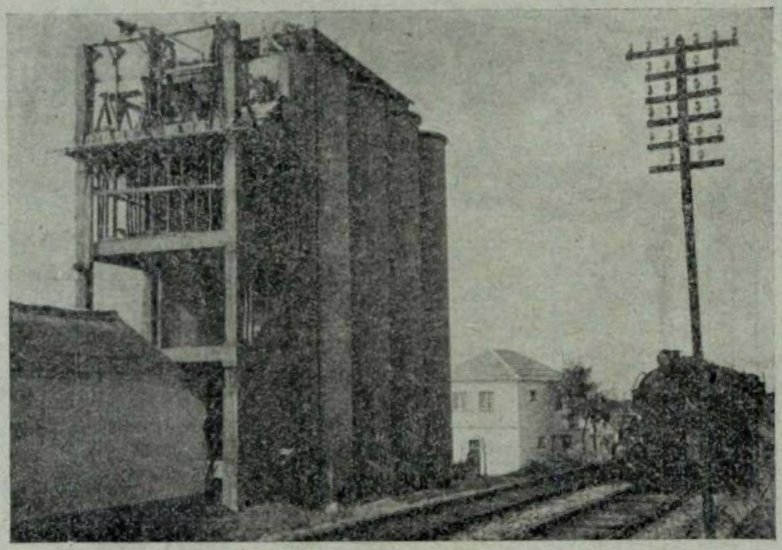
U

União Eléctrica Portuguesa . . . . .

FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 76061 PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ. LISBOA

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

Praça do Município, 13, 3.º — LISBOA — Telefone 22344



Silo em Ponte do Reguengo, de 1.000.000 kg de trigo, para a Sociedade do Ribatejo, Ltd.ª, com 8 células cilíndricas, já concluídas, executadas pelo sistema «PROMETO»

FUNDAÇÕES

BETÃO ARMADO

OBRAS PÚBLICAS

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa

No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

WILD
HEERBRUGG

A MARCA DE MAIOR EXPANSÃO MUNDIAL

ASSISTÊNCIA TÉCNICA ASSEGURADA

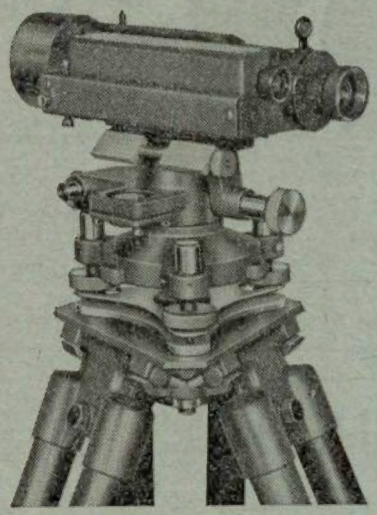
INSTRUMENTOS DE

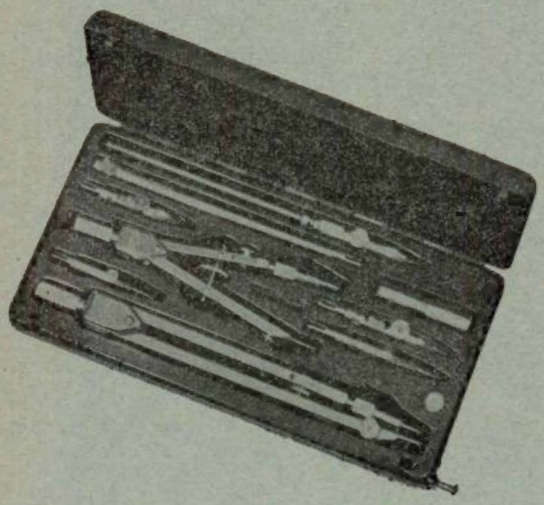
ALTO RENDIMENTO PARA

TOPOGRAFIA

GEODESIA

FOTOGRAMETRIA





MICROSCÓPIOS

LUPAS

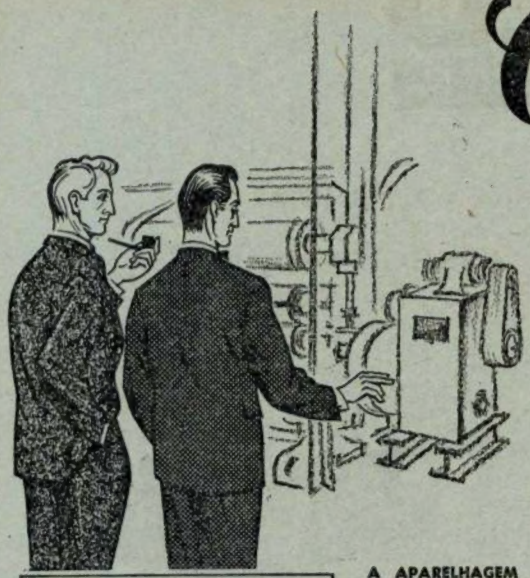
MATERIAL PARA DESENHO

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

RUA EUGÉNIO DOS SANTOS, 75 • TEL. 24314 • LISBOA

Temos a honra de anunciar

A NOSSA NOMEAÇÃO, COMO AGENTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL E PROVÍNCIAS ULTRAMARINAS, PELA FIRMA:



Crofts (ENGINEERS), LTD.
BRADFORD – INGLATERRA

universalmente conhecida como especialista em:

TRANSMISSÕES POR CORREIA, CABO E ENGRENAGENS
para todas as indústrias e potências
FUNDIÇÃO DE AÇO OU LATÃO — FABRICAÇÃO DE
CONSTRUÇÕES DE SECÇÕES METÁLICAS

- TRANSMISSÕES POR TAMBORES DE CORREIAS TRAPEZOIDAIS, DE VELOCIDADE FIXA OU VARIAVEL
- ENGRENAGENS DE VELOCIDADE VARIAVEL OU DE REDUÇÃO COM PARAFUSO SEM-FIM
- EMBRAIAGENS DE FRICÇÃO OU DISCO SIMPLES OU MULTIPLO
- EMBRAIAGENS «AIRFLEX»
- CAIXAS DE ENGRENAGEM CONICAS — MODELO «RADIATION» OU A OLEO, DE VELOCIDADE VARIAVEL, TIPO «CARTER»
- UNIDADES «C-JR» PARA COMANDO DE VARIAÇÕES DE VELOCIDADE
- UNIÕES FLEXIVEIS
- MANGAS CONICAS FENDIDAS
- MOTORES PARA ENGRENAGENS «EFFICIENCY», ETC., ETC.

O ramo da n/ Representada é TRANSMISSÃO DE ENERGIA. Fornece máquinas de todas as potências, tanto para produzir como para utilizar energia eléctrica, e está preparada para atender qualquer indústria

A APARELHAGEM CROFT É HOJE UTILIZADA EM QUASE TODOS OS PAÍSES DO MUNDO
QUEIRAM DIRIGIR-NOS AS VOSSAS CONSULTAS

MARTIN LESLIE & C.ª, LDA.

CAMPO DAS CEBOLAS, 43-3.º D.—TELEFONES 32824 E 35234—LISBOA

A nossa Representada dispõe de grande variedade de material em armazém em Inglaterra para ENTREGA IMEDIATA ou a curto prazo

FUNDIÇÃO E CONSTRUÇÃO MECÂNICAS

S. A. R. L.

OEIRAS

Uma grande organização na «Indústria Metalúrgica e Metalomecânica nacional»

Com **Fábrica** onde se produz:

Fundição de ferro, Ferros Ligas e Metais, Esmaltes — Esmaltagem
OFICINAS DE SERRALHARIA E FORJAS

Alguns artigos de série:

Banheiras de ferro fundido esmaltado — Todos os artigos sanitários para casa de banho e cozinha — Caldeiras e radiadores para aquecimento central — Salamandras — Fogões e fogareiros a gás — Fogões a lenha e carvão — Escadas e escadotes — Tábuas de engomar — Material para construção civil (aros para claraboias, sifões de pátio, ventiladores, portinholas, olhos de boi, autoclismos, etc.) — Bancos de jardim — Candeeiros para iluminação pública, etc.

PROJECTOS, ORÇAMENTOS E EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES E AQUECIMENTO CENTRAL

Vendas directas ao comércio da especialidade

Telefones:
Serviços 043 324 a 043 327
Administração 043 156
Secção Aquec. 4 1110 - 45301

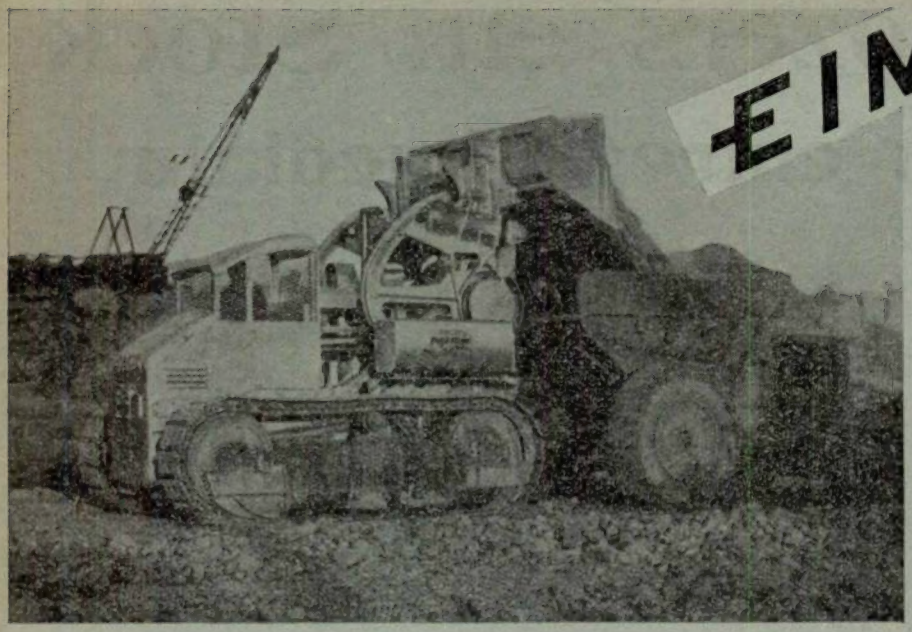
Teleg. Fundição — OEIRAS

Correio: Apartado 711
LISBOA — CENTRAL

SECÇÃO DE AQUECIMENTO

Av. António Augusto de Aguiar, 7-A

Telefone 4 1110



EIMCO

Rocker Shovel
Patenteado

SIMPLICIDADE

COMPACIDADE

ROBUSTEZ

peso 17.000 kg
balde 1.110 litros

TRACTOR ESCAVADOR 105

ATÉ AO

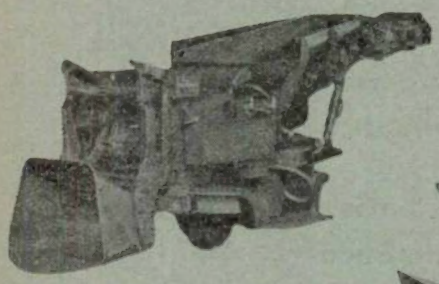
SUPERIOR À ESCAVADORA CLÁSSICA

Resolvendo o problema da carga tanto em pedreiras como em galerias e com qualquer veículo

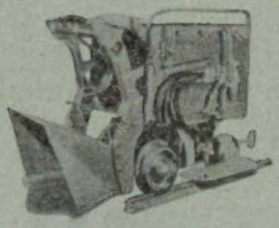
MÍNIMO VALOR DE COMPRA
MÍNIMO CUSTO DE CONSERVAÇÃO

ENERGIA pouco consumo { AR COMPRIMIDO / ELÉCTRICA / DIESEL

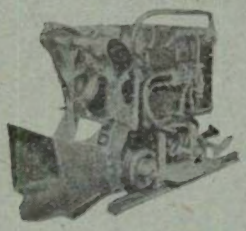
ao modelo 21 a ar comprimido corresponde o modelo 630 montado sobre lagartas



Modelo 40

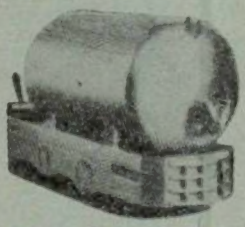


Modelo 21



Modelo 12-B

Locomotiva a ar



TODA A GAMA DE CARREGADORAS SUBTERRÂNEAS

Milhares de unidades trabalhando em todo o Mundo

•

AGENTE EXCLUSIVO

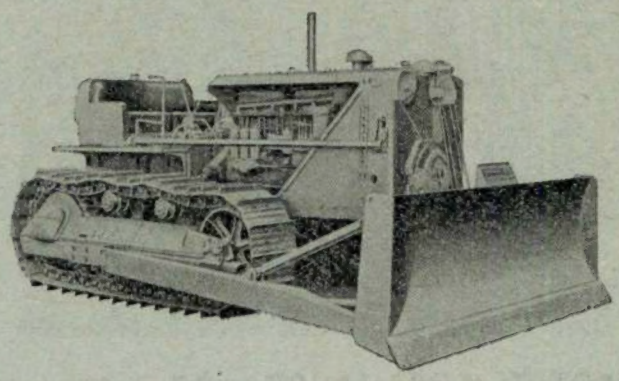
EDMOND DARDEL

Rua Rodrigues Sampaio, 19-4.º-B — LISBOA

Telef. 4 2289

Bulldozers em Stock

para entrega imediata



- Tractor Caterpillar D7 de 90 HP à barra, equipado com bulldozer 7S e comando de cabos n.º 25.
- Tractor Caterpillar D6 de 75 HP à barra, equipado com bulldozer 6S e comando hidráulico n.º 46.
- Tractor Caterpillar D4 de 48 HP à barra, equipado com bulldozer 4S ou 4A e comando hidráulico n.º 44.
- Tractor Caterpillar D2 de 38 HP à barra, equipado com bulldozer 2S ou 2A e comando hidráulico n.º 44.

Caterpillar

MARCA REGISTRADA

Representante Exclusivo:

SMEIA

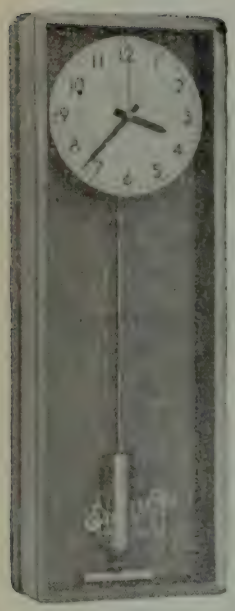
Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola, S.A.R.L.
Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B, 1.º — Tel. 77 81 53/4/5
LISBOA

PENSE em Ericsson

quando a hora certa é um problema!

Nos Escritórios, Fábricas, Colégios, Quartéis, Estações de Embarque de Passageiros, Casas de Saúde, Repartições Públicas, o SISTEMA ERICSSON auto-regulado resolve o problema da hora certa e uniforme.

- **Relógio MESTRE Ericsson.**
- **Relógios Ericsson para contrôle de ponto.**
- **Relógios secundários Ericsson.**
- **Dispositivo para programas de sinalização.**



Outros produtos Ericsson:

- Sistemas telefónicos de todos os tipos
- Sistemas de telesinalização
- Sistemas de radiocomunicações e sonorização
- Diversa aparelhagem telefónica e eléctrica

SOCIEDADE ERICSSON DE PORTUGAL, L.DA

RUA FILIPE FOLQUE, 7, 1.º

LISBOA

Telefone (P P C - 2 linhas) — 57193 • Telegramas: ERICSSON

MANIL

EXPORTAÇÃO · IMPORTAÇÃO

Sede: **Paço d'Arcos** – Av. Voluntários da República – Tel. 262 P. A.

CONSTRUÇÃO CIVIL

SERRAÇÃO E CARPINTARIAS MECÂNICAS
MADEIRAS E TACOS TRATADOS

Depósitos: CASCAIS — ESTORIL
PAÇO D'ARCOS — PAREDE

As oficinas estão apetrechadas com os maquinismos mais modernos e com estufa para secagem e tratamento de madeiras

TRABALHANDO PARA O FUTURO

RESISTÊNCIA E DURAÇÃO

UM PRODUTO DA

AS TINTAS CEMPEXO EMBELEZAM E PROTEGEM OS EDIFÍCIOS

PORQUE SÃO

HIDRÓFUGAS

E

PETRIFICANTES

DISTRIBUIDORES EM PORTUGAL

HENRIQUES & CASTRO, Lda.

AVENIDA CONDE DE VALBOM, 96
LISBOA

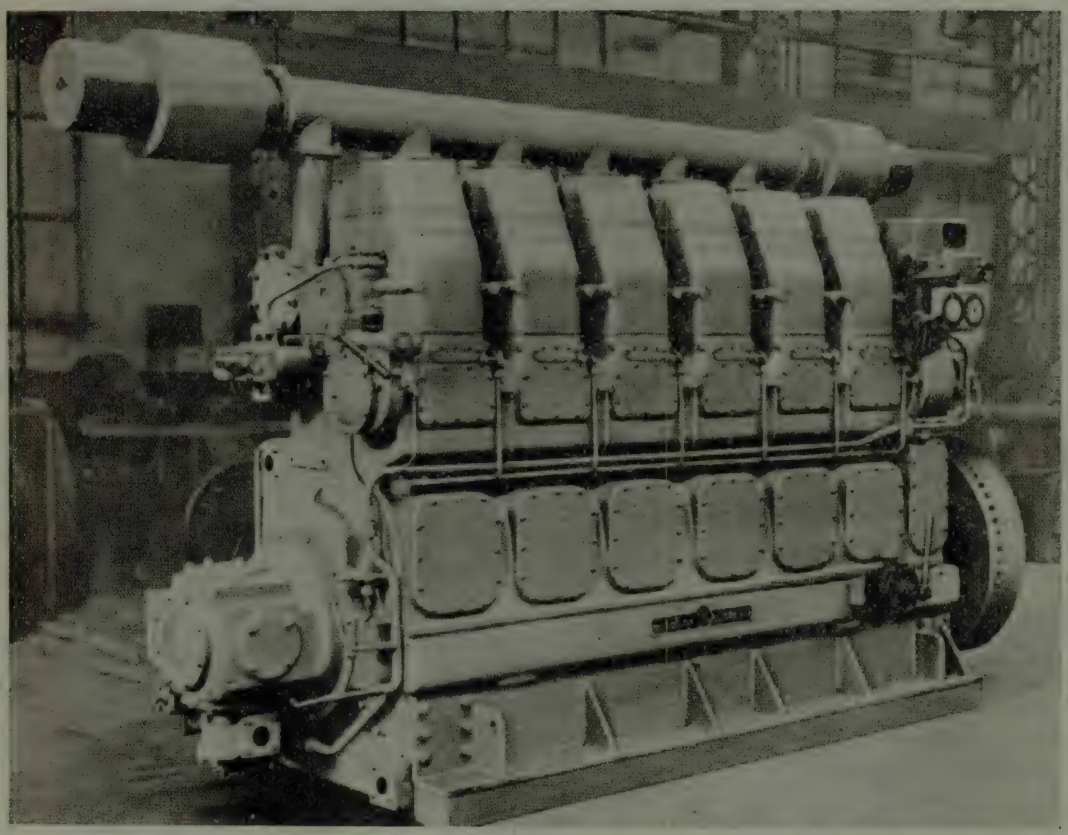
TELEF. 77 5057

Motores Diesel e de combustível duplo

'ENGLISH ELECTRIC'

DESDE 165 HP A 2000 HP

- PARA FINS INDUSTRIAIS
- TRACÇÃO
- MARÍTIMOS



THE ENGLISH ELECTRIC COMPANY LIMITED

Fábricas em: Stafford, Rugby, Preston, Bradford e Liverpool

Representantes exclusivos para Portugal e África Ocidental Portuguesa:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Sede: Rua Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA

Sucursais: PORTO, BEJA, VILA FRANCA DE XIRA e LUANDA

MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Tornos Paralelos
Limadores
Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas
Escateladores
Plainas
Mandriladoras

Entrega imediata

Máquinas de Precisão, L.da

(Eng.º J. d'Arriaga de Tavares)

LISBOA: Rua da Boa Vista, 45 a 49 — Tel. 66 60 86
PORTO: Rua Sá da Bandeira, 629 — Tel. 28720
LUANDA: Rua Pereira Forjaz, 75 — Caixa Postal 304

Companhia União Fabril

Sede: Rua do Comercio, 49

LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º
Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Sócio gerente: **Walter Weyermann**-Eng. civil

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.

300 METROS
DE PAPEL POR MINUTO

A MÁQUINA QUE PRODUZ ESTE MILAGRE CONFIA NOS TÉCNICOS DOS MELHORES SERVIÇOS DE LUBRIFICAÇÃO DO MUNDO

Esta máquina rotativa para fabricar papel — a mais rápida do mundo — tem o comprimento de um bloco de construções e foi projectada para produzir, em cada minuto, 300 metros de papel com 3,30 metros de largura e 0,225 milímetros de espessura.

A polpa de papel entra por um extremo, passa por uma série de prensas e cilindros secadores, e sai, já sob a forma de papel, pelo outro extremo.

Os cilindros, funcionando a temperaturas que atingem 190° C, estão apoiados em chumaceiras de rolos que se mostram em corte. Para proteger estas valiosas chumaceiras, para as manter limpas de depósitos, é preciso empregar um óleo de circulação especial que resista a temperaturas elevadas.

A Socony-Vacuum fornece esse óleo que, com outros, promove a lubrificação correcta desta máquina.

Está também ao alcance de V. Ex.ª um estudo económico semelhante: Basta pôr-se em contacto com a Socony-Vacuum.

Gargoyle Lubrificantes
SOCONY-VACUUM

GARGOYLE
SOCONY-VACUUM PORTUGUESA

2594

TÉCNICA

DIRECTOR — FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA ADMINISTRADORES { VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA / JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA
SECRETÁRIO — JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO
CORPO REDACTORIAL — ADELINO JOSÉ SOARES DE MELO, AFONSO MANUEL BRAGA DA CRUZ, JOÃO PEDRO MOTA E MELO, MANUEL M. FRIAS DE ALMEIDA E SÁ E VIRGÍLIO LOPES CABRITA

Ano XXX - N.º 254 Julho de 1955

C. D. 513.735.43

As geodésicas na definição das curvaturas duma superfície

PELO DOUTOR MIRA FERNANDES

1) Seja L uma geodésica duma superfície S, P um ponto qualquer de L, L_1 a secção normal da superfície que passa pela tangente T a L no ponto P. Seja ainda α o ângulo que a tangente T à geodésica faz com uma das direcções principais da superfície no ponto P.

Se forem $\frac{1}{R_1}$ e $\frac{1}{R_2}$ as curvaturas principais de S em P, será

$$1) \qquad \frac{1}{\rho_\alpha} = \frac{1}{R_1} \operatorname{sen}^2 \alpha + \frac{1}{R_2} \cos^2 \alpha$$

a curvatura de L_1, que é também a curvatura da geodésica L.

Por outro lado, a torsão daquela geodésica é dada pela fórmula

$$2) \qquad \frac{1}{\tau_\alpha} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \operatorname{sen} 2\alpha .$$ [1]

Derivando 1) em ordem a α, resulta

$$\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\rho_\alpha}\right) = \frac{2}{R_1} \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha - \frac{2}{R_2} \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha =$$
$$= \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \operatorname{sen} 2\alpha . \text{ Ou seja}$$

$$3) \qquad \frac{2}{\tau_\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\rho_\alpha}\right).$$

Desta fórmula simples resultam relações curiosas, de que fiz uso numa nota anterior [2], entre $\frac{1}{\rho_\alpha}$ e as curvaturas, total e média, da superfície no ponto P. Reproduzo dessa nota o que interessa ao presente raciocínio.

Resolvendo 1) e 2) em ordem a $\frac{1}{R_1}$ e $\frac{1}{R_2}$, vem

$$4) \quad \begin{cases} \dfrac{1}{R_2} = \dfrac{\dfrac{2}{\tau_\alpha} \operatorname{sen}^2 \alpha - \dfrac{1}{\rho_\alpha} \operatorname{sen} 2\alpha}{-\operatorname{sen} 2\alpha} \\[2ex] \dfrac{1}{R_1} = \dfrac{-\dfrac{1}{\rho_\alpha} \operatorname{sen} 2\alpha - \dfrac{2}{\tau_\alpha} \cos^2 \alpha}{-\operatorname{sen} 2\alpha} \end{cases}$$

e, portanto,

$$5) \qquad K_0 = \frac{1}{R_1 R_2} = \frac{1}{\rho_\alpha^2} - \frac{1}{\tau_\alpha^2} + \frac{2}{\rho_\alpha \tau_\alpha} \operatorname{cotg} 2\alpha,$$

representando por K_0 a curvatura total da superfície no ponto P.

Como de 2) resulta

$$6) \qquad \frac{1}{2}\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\tau_\alpha}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \cos 2\alpha,$$

[1] Veja, por exemplo, *Bianchi — Lezioni di Geometria differenziale*, vol. I, pág. 296.

[2] Veja «*Rendiconti della R. Accademia N. dei Lincei*» Cl di Sci fis. mat. e nat. (6) 25 — 1.º sem.

será

$$7) \qquad \operatorname{cotg} 2\alpha = \frac{\frac{1}{2}\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\tau_\alpha}\right)}{\frac{1}{\tau_\alpha}}$$

e

$$8) \qquad K_0 = \frac{1}{\rho_\alpha^2} - \frac{1}{\tau_\alpha^2} + \frac{\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\tau_\alpha}\right)}{\rho_\alpha}.$$

Como se vê, *neste raciocínio não intervem a fórmula* 3).

Fazendo uso de 3), podemos exprimir K_0 apenas em $\frac{1}{\rho_\alpha}$ e nas suas derivadas, *sem intervenção da torsão* $\frac{1}{\tau_\alpha}$.

Com efeito, de 8) e 3) resulta

$$9) \quad K_o = \frac{1}{\rho^2_\alpha} - \frac{1}{4}\left(\frac{d}{d\alpha}\frac{1}{\rho_\alpha}\right)^2 + \frac{1}{2\rho_\alpha}\frac{d^2}{d\alpha^2}\left(\frac{1}{\rho_\alpha}\right)^{(1)}$$

Das fórmulas 4) resulta uma expressão muito simples da *curvatura média*. Com efeito,

$$10) \quad M_o = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{\rho_\alpha} + \frac{1}{\tau_\alpha}\operatorname{cotg} 2\alpha$$

como imediatamente se verifica. Ou seja, em virtude de 3) e 7),

$$10') \quad M_o = \frac{1}{\rho_\alpha} + \frac{1}{2}\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\tau_\alpha}\right) = \frac{1}{\rho_\alpha} + \frac{1}{4}\frac{d^2}{d\alpha^2}\left(\frac{1}{\rho_\alpha}\right)$$

expressa, igualmente, em $\frac{1}{\rho_\alpha}$ e nas suas derivadas.

---

[1]) Anteriormente à *nota* citada do autor, tinha dado a Sig.na dott Giaciuta Andrueto, por outra via, a expressão

$$K_0 = -\frac{3}{4}\left(\frac{d}{d\alpha}\frac{1}{\rho_\alpha}\right)^2 + \frac{1}{\rho_\alpha^2} + \frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\rho_\alpha}\frac{1}{\tau_\alpha}\right)$$

da curvatura total. Esta expressão, que é menos simples que 8), transforma-se imediatamente em 8), por intermédio de 3) e contém também ambas as curvaturas.

Vide *Rendiconti dei Lincei, vol. XXIII. Gennaio 1936 — Nuova espressione per la curvatura totale di una superficie.*

De 9) e 10') resulta ainda

$$12) \quad \frac{2}{\rho_\alpha} M_o - K_o = \frac{1}{\rho_\alpha^2} + \frac{1}{4}\left[\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{1}{\rho_\alpha}\right)\right]^2$$

relação interessante entre as duas curvaturas, que, igualmente se exprime na curvatura $\frac{1}{\rho_\alpha}$ da geodésica e na sua derivada.

2) Posto isto observemos que a relação 12) pode escrever-se

$$12') \qquad \frac{2}{\rho_\alpha} M_o - K_o = \frac{1}{\rho^2_\alpha} + \frac{1}{\tau^2_\alpha},$$

em virtude de 3). E pelas fórmulas de Frénet,

$$\frac{1}{\rho^2_\alpha} + \frac{1}{\tau^2_\alpha} = \frac{1}{\rho^2_n}$$

sendo $\frac{1}{\rho_n}$ a *curvatura associada* com a direcção da normal principal de L, *no espaço tridimensional em que é definida a superfície* S. Mas, como L é uma geodésica da superfície, a normal principal é normal à superfície; e, portanto, $\frac{1}{\rho_n}$ *é a curvatura associada com a direcção da normal a* S.

Isto é,

$$12'') \qquad \frac{2}{\rho_\alpha} M_o - K_o = \frac{1}{\rho^2_n}.$$

a) Se S *é uma superfície mínima*, $M_o = 0$ e

$$13) \qquad K_o = \frac{1}{\rho^2_n}.$$

Isto é, $|K_0|$ ($K_0 < 0$, nas superfícies mínimas) *é igual ao quadrado da curvatura associada (no espaço ambiente) com a direcção da normal à superfície.*

Este resultado interessante permite determinar, por meio de qualquer geodésica da superfície, passando em P (e todas elas têm a mesma normal principal, que é a normal à superfície), a curvatura total de S nesse ponto P.

b) Se S *é uma superfície planificável*, $K_0 = 0$ e

$$14) \qquad \frac{2}{\rho_\alpha} M_o = \frac{1}{\rho^2_n}.$$

Isto é, *o dobro da curvatura média é igual ao cociente do quadrado da curvatura associada com a direcção da normal à superfície pela curvatura de flexão da geodésica de transporte.*

Este cociente é, portanto, o mesmo qualquer que seja essa geodésica, visto ser o dobro da curvatura média da superfície.

Como se vê, é fundamental neste raciocínio a relação 3), afirmando que, *em relação a α, a derivada da curvatura de flexão duma geodésica é igual ao dobro da torsão.*

Como se disse, é na variedade V_3, a que pertence S, e não na variedade $V_2 = S$, que se efectua, ao longo de L, o transporte para o qual $\frac{1}{\rho_n}$ é a *curvatura associada* com a direcção da normal principal de L. De resto, essa normal principal não é, sequer, uma direcção de V_2; e o seu transporte em V_2 não teria sentido.

3) A equação 13), que dá a curvatura total duma superfície mínima, está imediatamente relacionada com a conhecida fórmula de Beltrami e Enneper, que exprime a curvatura total duma superfície na torsão das suas linhas assintóticas. Com efeito, a fórmula vulgarmente chamada de Enneper (já anteriormente considerada por Beltrami) diz que, numa superfície que tem, no ponto P, assintóticas reais,

$$15) \qquad -K_0 = \frac{1}{\tau^2}$$

sendo $\frac{1}{\tau^2}$ o quadrado da torsão de qualquer das duas assintóticas que passam nesse ponto.

Se a superfície é mínima, em todos os pontos

$$2M_0 = 0 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

$$K_0 = \frac{1}{R_1 R_2} > 0,$$

e as assintóticas são reais. De 13) e 15) resulta

$$16) \qquad \frac{1}{\tau^2} = \frac{1}{\rho_n^2}.$$

E assim deve ser. Com efeito, sendo B o vector unitário binormal duma assintótica e N o vector normal principal de *qualquer* geodésica, será $B = \pm N$, porque ambos os vectores têm a direcção da normal à superfície. Se for ds a diferencial do arco da assintótica considerada e ds_1 a diferencial do arco da geodésica *tangente* a essa assintótica, será $ds = \pm ds_1$ e

$$\left(\frac{dB}{ds}\right)^2 = \left(\frac{dN}{ds}\right)^2$$

que é a fórmula 16), visto que $\frac{1}{\rho_n^2}$, em virtude de 13), tem o mesmo valor para *qualquer* geodésica da superfície no ponto P. Isto é, *numa superfície mínima, o quadrado da torsão duma assintótica, num ponto P, é igual à soma dos quadrados das curvaturas de flexão e de torsão de qualquer geodésica que passa no mesmo ponto P. O valor comum é a curvatura total — K_0 da superfície nesse ponto.*

4) Em resumo:

a) Por 9) e 10'), M_0 e K_0 exprimem-se na curvatura de flexão de qualquer geodésica e nas suas derivadas, qualquer que seja a superfície considerada.

b) Da equação 12''), de que resultam 13) e 14), provêm resultados interessantes para os casos particulares das superfícies planificáveis e das superfícies mínimas. Não sei se esta equação 12'') já foi algures advertida.

c) Como se vê, para as superfícies mínimas $\frac{1}{\rho_\alpha^2} + \frac{1}{\tau_\alpha^2} = \frac{1}{T^2}$ relaciona a torsão das assintóticas (que são reais) com as duas curvaturas de *qualquer* geodésica, visto que $\frac{1}{\rho_\alpha^2} + \frac{1}{\tau_\alpha^2}$ não depende da geodésica considerada.

d) Se a superfície tiver assintóticas reais, sem ser mínima,

$$\frac{2}{\rho_\alpha} M_0 = \frac{1}{\rho_n^2} - \frac{1}{T^2}$$

em virtude do teorema de Enneper.

e) Sendo $C_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2}\right)$ a curvatura

de Casorati,

$$M_0^2 = \frac{1}{2}\left(C_0 + K_0\right);$$

e nas superfícies mínimas,

1) $$C_0 = -K_0;$$

nas planificáveis,

2) $$M_0^2 = \frac{1}{2} C_0 .$$

f) De 12'') resulta, em geral,

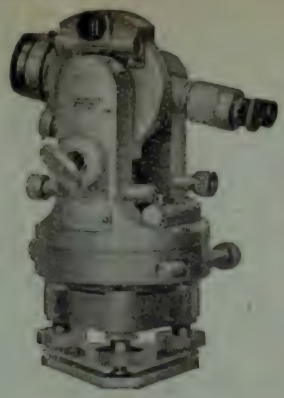
$$M_0 = \frac{1}{2}\rho_\alpha\left(\frac{1}{\rho_n^2} + K_0\right),$$

$$M_0 = \frac{1}{2}\rho_\alpha\left(\frac{1}{\rho_\alpha^2} + \frac{1}{\tau_\alpha^2} + K_0\right)$$

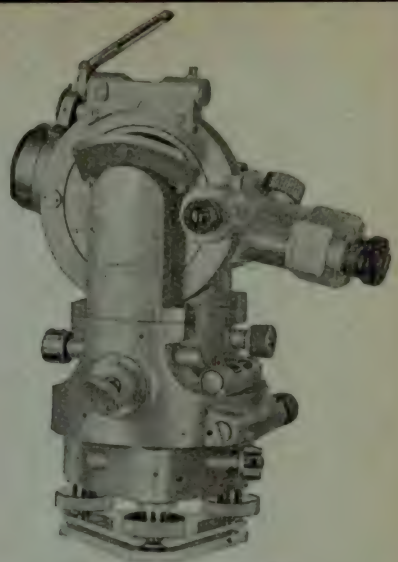
que exprime M_0 em K_0 e nas curvaturas duma geodésica.

MATERIAL Fennel KASSEL TOPOGRÁFICO

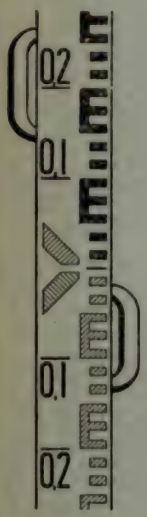
Teodolito de 8 cm, com leitura óptica dos 2 limbos

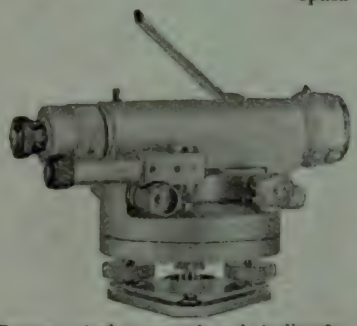


Teodolito de 9 cm, com leitura optica dos 2 limbos

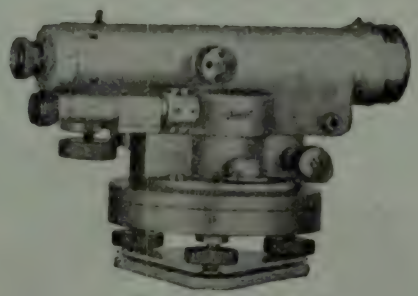


Taqueómetro auto-redutor

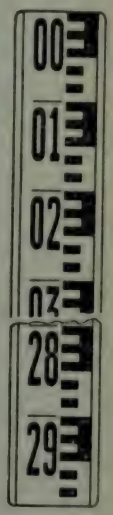




Pequeno nivel com parafuso de inclinação

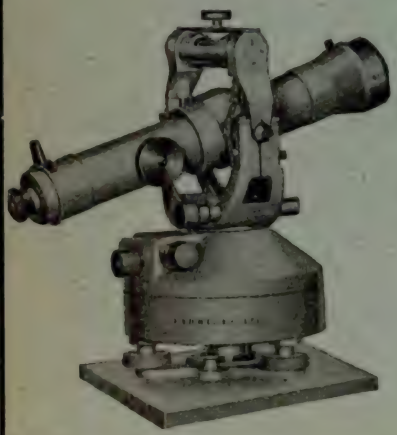


Nivel taquiométrico

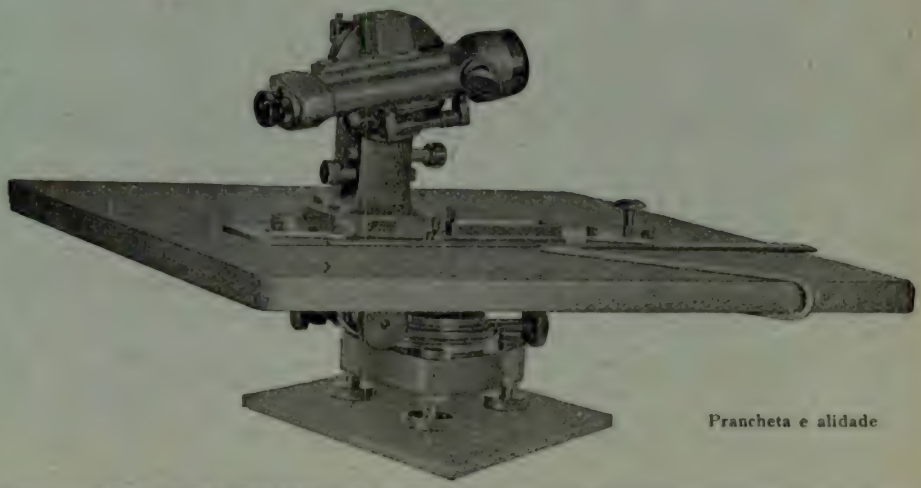


Clinómetro com sinal (sistema Fennel)

Tambor com fita de aço de precisão



Luneta para observação de deslocamento de barragens



Prancheta e alidade

REPRESENTANTES

PAPELARIA FERNANDES

145, R. do Ouro, 149 — LISBOA — Largo do Rato, 13

Fornos BIRLEC para tratamento térmico de Engrenagens

Operação fácil e eficiente, baixo custo e profundidades de cementação controláveis, são as principais características dos **FORNOS "BIRLEC"** . . . e a razão da preferência que lhes é dada pelas principais Indústrias Metalomecânicas.

Fornos eléctricos para todos os tratamentos térmicos

BIRLEC, LIMITED

BIRMINGHAM — Inglaterra

AGENTES:

AHLERS, LINDLEY, L.DA

Rua Ferregial de Baixo, 33-2.º
LISBOA
Telef. 21321/4

Palácio do Atlântico, 408
Praça D. João I
PORTO — Telef. 28384

C. D. 669.3. (046 + 054)

ALGUMAS NOTAS SOBRE METALURGIA DO COBRE

Factores Relacionados com o Rendimento Térmico da Fusão e da Refinação

PELO ENG.º QUÍM.-INDUST. (I. S. T.) VERGÍLIO RUI TEIXEIRA LOPO

(Companhia União Fabril — Barreiro)

A fusão de minérios do cobre em fornos de cuva, quer para a produção de cobre negro quer para a produção de mate, tem como factor económico fundamental a influenciá-la, o custo de combustível.

A sua incidência no custo da obtenção do metal varia inversamente com o teor de cobre no minério tratado; por isso, é geralmente o custo do combustível que condiciona, sob o aspecto metalúrgico, a concentração que o minério deve atingir na sua preparação prévia. E são também, na maior parte dos casos, factores relacionados com o consumo de combustível e com as condições da sua obtenção local, que permitem determinar qual o método mais aconselhável para o tratamento de um determinado minério disponível.

Na refinação do cobre produzido em forno de cuva ou em convertidor, o combustível representa ainda o elemento fundamental do preço de custo. É por esse motivo que grande parte do progresso da técnica da refinação se tem vindo a fazer, nos últimos anos, com o objectivo de reduzir o consumo de combustível por unidade de metal refinado.

Para um mesmo tipo de forno, o consumo de combustível está intimamente ligado com o grau de refinação que se pretende. Por outro lado, a volatilização dos metais na refinação está relacionada, não só com o grau de pureza a obter, mas também com as condições de eficiência térmica em que a operação é realizada.

As notas que seguem, não têm outra pretensão que não seja a de introduzir, em aspectos da Metalurgia do Cobre geralmente bem conhecidos, alguns elementos complementares, necessários à resolução de problemas específicos — e que são susceptíveis de fácil generalização a aspectos afins da Metalurgia dos Metais não Ferrosos.

I — Fusão de minérios em forno de cuva

Escolha do Combustível mais Económico

A expressão que relaciona o custo da fusão de um minério ou de um sub-produto, em forno de cuva, com o custo do combustível utilizado, é da forma

$$P = \frac{a + c}{\tau} + p(\tau)$$

em que

P — é o custo da fusão por unidade de metal obtido

c — o custo de combustível por unidade de minério tratado

τ — o teor do minério no metal considerado

a — uma constante

e

p (τ) — uma função do teor do minério, que representa o valor da perda do metal no tratamento.

O valor de c, sendo sempre elevado em relação ao custo total da operação e pràticamente independente do teor do minério no metal considerado, dentro dos limites normais da variação de τ, onera apreciàvelmente os minérios mais pobres.

De uma maneira geral, o custo do combustível e o valor de p (τ) são os factores de maior impor-

tância a considerar. No caso da fusão pirítica ou semi-pirítica, o problema, embora diferente sobre o aspecto metalúrgico, pode ser reduzido às mesmas linhas gerais no que respeita ao custo da operação, desde que em c se inclua o valor do enxofre consumido como combustível.

As curvas que representam a variação do custo do tratamento de um minério com a sua concentração, têm, dentro dos limites normais da variação de τ (5 a 35 $^0/_0$ Cu), a seguinte forma aproximada:

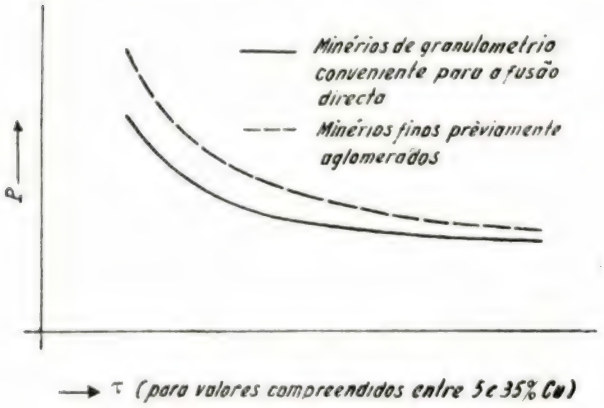


Fig. 1

Uma vez fixado, a partir dos valores normais de c, o valor de τ mais conveniente para a fusão do minério, o problema geralmente existente consiste em determinar, para os vários tipos de coque disponíveis, aquele cuja utilização é mais económica.

Consideremos, para isso, dois combustíveis sólidos — dois tipos de coque — de preços unitários P_1 e P_2; representemos por Q_1 e Q_2 as quantidades de minério tratado no forno por unidade de tempo, utilizando coques de preço P_1 e P_2 respectivamente; e por C_1 e C_2 as quantidades de coque consumidas num caso e noutro, por tonelada de minério tratado.

As diferenças fundamentais do funcionamento do forno, como consequência da utilização de coques de natureza diferente (poder calorífico, resistência mecânica, reactividade, diferentes) são, como se sabe, as seguintes:

— diferença de consumo de combustível por unidade do minério tratado;
— diferença de rendimento do forno, traduzido por uma diferente capacidade de tratamento do minério, por unidade de superfície da secção do forno e por unidade de tempo;
— perdas de cobre diferentes, traduzidas pela produção de escórias pobres com teores de cobre diferentes, como consequência da variação das condições térmicas na zona de fusão.

Comparando, por unidade de tempo, as condições de trabalho, no caso de se usarem coques de preço P_1 e de preço P_2, tem-se, respectivamente:

1) Valor do coque consumido $C_1 P_1$, $C_2 P_2$
2) Despesas fixas do trabalho do forno F, F
3) Perda de cobre na escória

Escória produzida $E = Q \cdot e$
em que
e — escória produzida por unidade de minério tratado
A perda do cobre [p] é, portanto
$[p] = Et_e = Qet_e$
em que
t_e = teor de cobre na escória
O valor de [p] é dado por
$p = Qet_e \ (P_{Cu} - r)$
em que
P_{Cu} = valor do cobre refinado tèrmicamente
e
r — o custo do tratamento por unidade de cobre obtido

Em cada caso tem-se

$$Q_1 \, et_1 \, (P_{1Cu} - r), \qquad Q_2 \, et_2 \, (P_{Cu} - r)$$

No total, por unidade de tempo

$$C_1 P_1 + F + Q_1 \, et_1 \, (P_{Cu} - r), \quad C_2 P_2 + F + Q_2 \, et_2 \, (P_{Cu} - r)$$

e, por unidade de minério tratado

$$\frac{C_1 P_1 + F + Q_1 \, et_1 \, (P_{Cu} - r)}{Q_1}, \quad \frac{C_2 P_2 + F + Q_2 \, et_2 \, (P_{Cu} - r)}{Q_2}$$

Para que a utilização do coque de preço P_2 seja mais económica que a utilização de coque de preço P_1 torna-se necessário que

$$\frac{C_1 P_1 + F + Q_1 \, et_1 \, (P_{Cu} - r)}{Q_1} > \frac{C_2 P_2 + F + Q_2 \, et_2 \, (P_{Cu} - r)}{Q_2}$$

Representando por:

c_1 e c_2 . . . o consumo de coque, de preços P_1 e P_2 respectivamente,

f_1 e f_2 . . . o valor das despesas fixas no caso de se usarem combustíveis de preços P_1 e P_2 respectivamente,

p_1 e p_2 . . . o valor das perdas do cobre na escória utilizando coque de preços P_1 e P_2

referidos à unidade do minério tratado, tem-se:

$$c_1 P_1 + f_1 + p_1 > c_2 P_2 + f_2 + p_2$$

ou

$$\boxed{P_1 - \alpha P_2 > K}$$

em que

$$\alpha = \frac{c_2}{c_1}$$

e

$$K = \frac{(f_2 - f_1) + (p_2 - p_1)}{c_1}$$

O mesmo raciocínio é susceptível de ser aplicado à fusão de outros metais não ferrosos em fornos de cuva e, em particular, do chumbo.

II — Refinação do cobre de primeira fusão

a) *Relações entre o consumo de combustível e o grau de refinação a obter*

A elaboração das curvas representativas da eliminação das impurezas durante a refinação do cobre, em função do tempo, permite determinar, com aproximação suficiente, a relação entre o consumo de combustível e o grau de refinação que se pode obter na sequência do processo.

Efectivamente, o consumo de combustível é aproximadamente constante por unidade de tempo, durante o período de oxidação, e menor que durante o período de fusão. Isto significa que o consumo C de combustível, por unidade de metal refinado em fornos de reverbero, pode ser dado, muito aproximadamente, pela expressão simples

$$C = q\,(t - t_1) + \beta q t_1$$

em que t é o tempo total de tratamento, t_1 o tempo de oxidação, q o consumo unitário de combustível durante o período de fusão e β a relação entre o consumo de combustível na oxidação e na fusão ($\beta < 1$).

O estudo quantitativo das relações existentes entre a percentagem de elementos volatilizados ou escorificados durante a refinação do cobre e o volume de ar insuflado no banho (ou da sua variação com o tempo), é, actualmente, extremamente restrito.

O bismuto é um dos poucos elementos para os quais esse estudo permitiu estabelecer funções simples, visto que a sua eliminação pode ser tratada como sendo quase exclusivamente feita por volatilização.

Deste modo, foi possível chegar a uma expressão do tipo corrente da estática química, que relaciona o volume n de ar necessário para reduzir a fracção molecular do bismuto na conversão de mate, de N a N' [1].

$$n = \int_N^{N'} - \frac{wkRT}{MNp} \cdot dN$$

e, portanto,

$$n = \frac{wkRT}{Mp} \log \frac{N}{N'}$$

em que

w é o peso total de mate
k é uma constante que depende da composição da mate
T a temperatura absoluta
M o peso molecular do bismuto

A representação gráfica desta relação é dada por uma curva com a forma indicada na fig. 2.

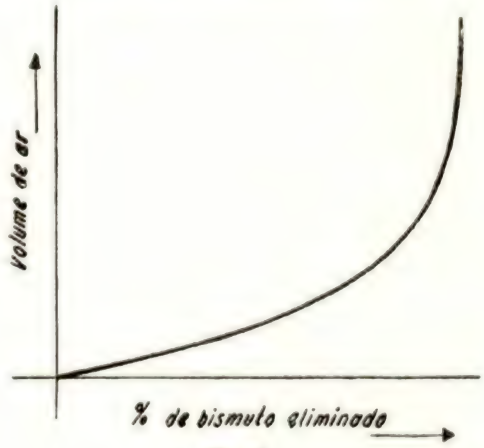


Fig. 2

De uma maneira geral, porém, o estudo das condições de eliminação das impurezas, quer na conversão quer na refinação do cobre, não se

[1] Ruddle, «The Physical Chemistry of Copper Smelting».

encontra feito senão experimentalmente, e mesmo assim com muitas limitações.

O facto poderá ser justificado, em parte, pela complexidade das reacções que se passam à temperatura do tratamento, e pela dificuldade de determinar constantes dos compostos formados naquelas condições.

Por outro lado, é difícil generalizar as conclusões de estudos feitos, mesmo com carácter experimental, pelo que, em cada caso concreto, é, quase sempre, necessário fazer a determinação experimental das curvas que representam a variação, com o tempo, do teor, das impurezas contidas no cobre ao longo da sua refinação.

É com bases nessas curvas que se pode estabelecer o tempo de oxidação necessário à obtenção das condições de refinação requeridas e, portanto, determinar o consumo de combustível, utilizando a expressão anteriormente indicada.

Assim, por exemplo, a eliminação do arsénio constitui um dos aspectos de maior interesse na refinação do cobre, quer com vista à produção de cobre refinado tèrmicamente, quer com o objectivo de produzir anodos para a refinação electrolítica posterior.

As curvas representativas da eliminação do arsénio na refinação do cobre negro, com elevado teor neste elemento (3-4 %), em fornos de reverbero, têm aspectos aproximados dos indicados na fig. 3.

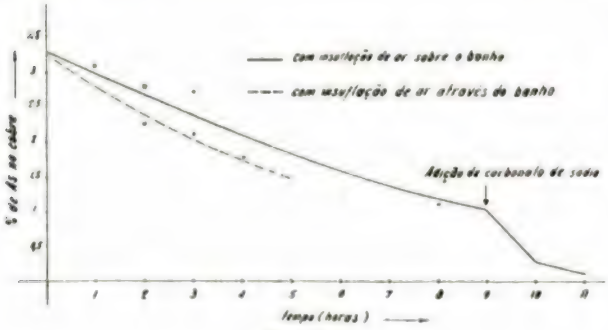


Fig. 3

O estudo experimental da eliminação do arsénio e do antimónio pela soda, depois de reduzido o seu teor no cobre, por oxidação, até teores da ordem de 0,5 %, foi feito, e com resultados de muito interesse, por Hillenbrand, Poull e Kenny [1].

As curvas obtidas têm a forma seguinte:

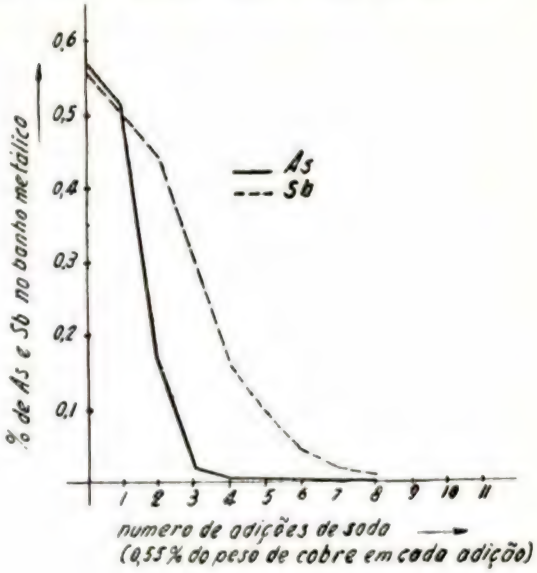


Fig. 4

Da análise do primeiro gráfico (fig. 3) pode concluir-se, por exemplo, que a remoção do arsénio no cobre negro, de 3,3 a 1,5 %, em forno de reverbero, se traduz num consumo de combustível que, durante a oxidação, é cerca de 65 % do consumo de combustível necessário à sua eliminação até 1,0 %; e que, considerando a operação completa (fusão, oxidação e redução) a relação entre os consumos de combustível num caso e noutro seria de 80 % [1].

A correspondência entre a eliminação do arsénio durante o período da oxidação (sem adição de soda) e o consumo de combustível, pode traduzir-se gràficamente, para o exemplo considerado, do seguinte modo:

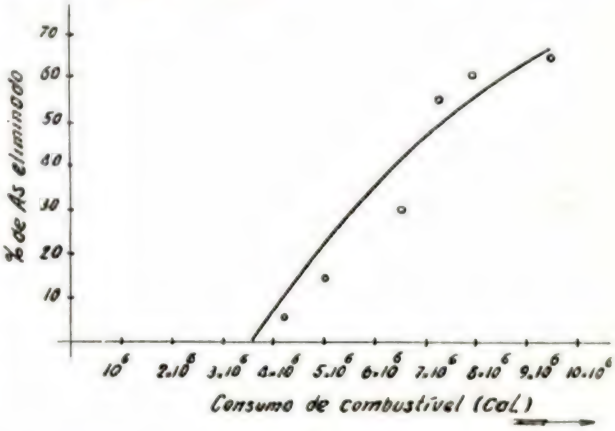


Fig. 5

[1] «Removal of Arsenic and Antimony from Copper by Furnace-refining Methods».

[1] No exemplo considerado, $q = 1{,}2 \times 10^6$ Cal / h, $\beta = 0{,}6$ e $t = t_1 + 4$ h.

O estudo da eliminação das restantes impurezas, na refinação do cobre, pode ser elaborado em moldes semelhantes.

b) *Relações entre o consumo de combustível e a volatilização do cobre*

Considere-se a refinação do cobre em forno de reverbero, e seja t o tempo total do tratamento de uma carga.

O valor de t pode ser decomposto nos seguintes tempos parciais:

t_1 — tempo de aquecimento, isto é, tempo necessário para levar toda a massa à temperatura de fusão (1085°C)

t_2 — tempo de fusão

t_3 — tempo de oxidação

t_4 — tempo de redução e de descarga.

Representemos por T_1, T_2, T_3 e T_4 os valores médios das temperaturas absolutas do cobre, em cada um dos períodos considerados.

A perda de cobre por volatilização, em cada período, será dada pela expressão

$$v = K \frac{ps}{760 - ps} V$$

em que

p — é a pressão máxima de vapor de cobre em mm de mercúrio, à temperatura considerada

s — o grau de saaturação dos gases em vapor de cobre

V — o volume de gases saídos do forno em cada período (em m^3)

e K — o factor de conversão em peso (1).

Os valores de p podem ser obtidos, com aproximação suficiente, a partir da expressão logarítmica obtida da fórmula de Clapeyron (2).

Em cada um dos períodos considerados, esses valores serão dados por:

$$\log p_1 = -\frac{16.770}{T_1} + 9{,}04$$

$$\log p_2 = -\frac{15.970}{T_2} + 8{,}45 \quad (1)$$

$$\log p_3 = -\frac{15.970}{T_3} + 8{,}45$$

$$\log p_4 = -\frac{15.970}{T_4} + 8{,}45$$

Os valores de V variam com as condições em que é feita a combustão (em especial o excesso de ar utilizado) (3), com o grau de refinação que se atinge (visto que dele depende o volume de ar introduzido no forno durante o período de oxidação) e, fundamentalmente, com o consumo de combustível por unidade de cobre refinado.

Este depende, como se sabe, das características dos fornos utilizados e da sua capacidade (3).

Nestas condições, a expressão da perda de cobre por volatilização em função do consumo de combustível, pode ser dada por

$$v = K \frac{ps}{760 - ps} (Qf + A)$$

em que

Q — é o consumo unitário de combustível

f — o volume de gases produzidos por unidade de combustível

A — o volume de ar introduzido directamente no forno durante o período de oxidação (4).

O gráfico da fig. 6 representa a variação da perda de cobre por volatilização durante a refinação de cobre negro em forno de reverbero, nas mesmas condições de eliminação do arsénio que o gráfico da fig. 3 representa (5).

---

(1) Neste caso $\frac{63{,}6}{22{,}4} \times 10^3 = 2{,}84 \times 10^3$

(2) Como se sabe, essa expressão é do tipo $\log_{10} p = -\frac{A}{T} + B$

(1) Consideram-se apenas os valores de A e B para o estado líquido no período de fusão, para maior simplicidade.

(2) Que determina também os valores de T.

(3) O consumo de combustível por unidade de cobre tratado varia, dentro de largos limites, com a capacidade do forno, com o tipo do forno utilizado (estacionário ou rotativo) e com o grau de recuperação do calor dos fumos; essa variação pode ir do simples ao duplo em certos casos.

(4) Nos períodos de fusão e de redução A = O.

(5) $T_1 = 1100\,°K$ $T_2 = 1357\,°K$ $T_3 = 1573\,°K$ $T_4 = 1573\,°K$ $s = 0{,}25$ $f = 13{,}8 m^3/10^4$ Cal. $A = 35 m^3/m$.

Conclui-se que a principal perda de cobre por volatilização se verifica durante o período de oxidação, quer como consequência do acréscimo do volume de gases que atravessa o forno durante esse período, quer ainda porque a temperatura no banho é mais elevada.

dos valores experimentais; a quantidade de cobre existente nas poeiras dos fornos de reverbero excede, normalmente, a quantidade de cobre volatilizado, visto haver, geralmente, um arrastamento de cobre metálico, no estado líquido, durante a refinação.

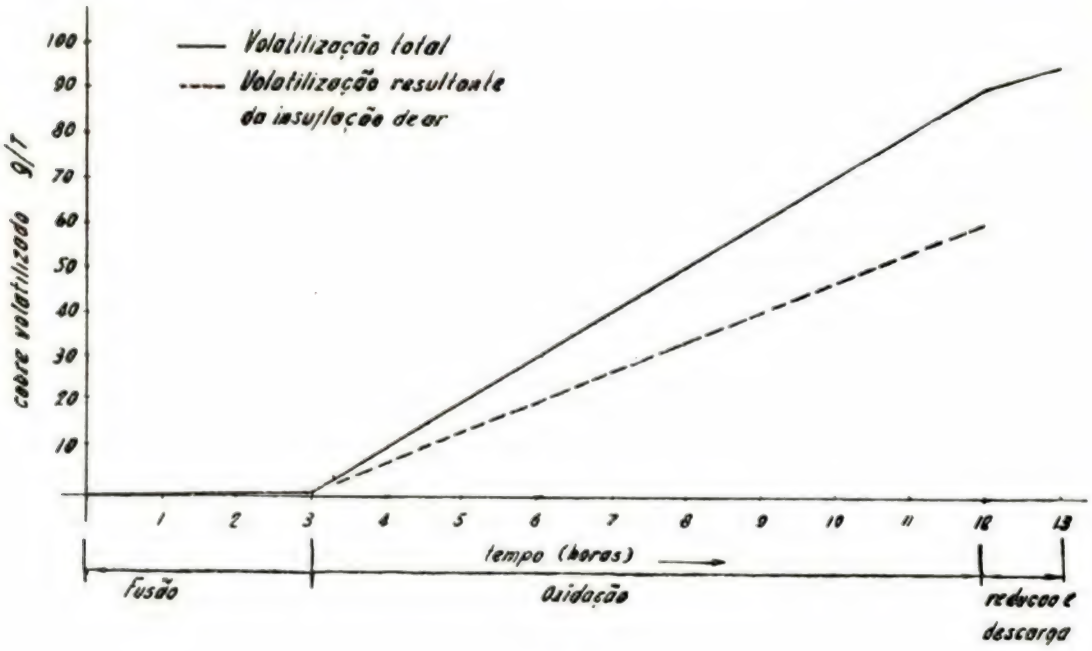


Fig. 6

A utilização de fornos modernos, com menor consumo de combustível por unidade de cobre tratado, contribui, portanto, para a diminuição da quantidade de cobre volatilizado durante a refinação. O mesmo sucede com uma melhor utilização do ar de oxidação do banho.

Na prática, os valores deduzidos para a quantidade de cobre volatilizado não se afastam muito

BIBLIOGRAFIA

John Perry — Chemical Engineers' Handbook.
Ruddle — The Physical Chemistry of Copper Smelting.
Butts — Metallurgical Problems.
Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy.

C. D. 536.7

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DOS GASES REAIS

PELO ENG.º QUÍM-IND. (I. S. T.) ANTÓNIO SALES LUÍS

I] Introdução

A determinação das propriedades termodinâmicas dos gases é, como se sabe e, aliás, tem sido salientado em diferentes artigos já publicados nesta revista, de grande importância em tecnologia química, nomeadamente em processos realizados a alta pressão. Embora tal assunto seja já do domínio dos livros, pretende-se neste artigo fazer a revisão dos métodos mais usados no campo técnico. Um dos métodos, vulgarmente apelidado método dos diagramas generalizados, baseia-se no princípio dos estados correspondentes. O outro, apelidado método analítico, baseia-se numa das equações de estado. Faz-se apenas referência às seguintes equações:

— equação de van der Waals

$$\left(p + \frac{a_v}{v^2}\right)(v - b_v) = R\,T \qquad (1)$$

— equação de Wohl

$$p = \frac{R\,T}{v - b_\omega} - \frac{a_\omega}{v\,T\,(v - b_\omega)} + \frac{c_\omega}{v^3\,T^{4/3}} \qquad (2)$$

— equação de Beattie-Bridgeman

$$p = \frac{R\,T}{v} + \frac{1}{v^2}\left[R\,T\,B_o - A_o - \frac{R c_b}{T^2}\right] + \frac{1}{v^3}\left[A_o\,a_b - R\,T\,B_o\,b_b - \frac{R\,B_o\,C_b}{T^2}\right] + \frac{R\,B_o\,b_b\,c_b}{v^4\,T^2} \qquad (3)$$

Como é óbvio, apenas se faz referência à determinação das seguintes propriedades:

— entalpia
— entropia
— calor específico a pressão constante

pois, a partir destas, pode determinar-se as restantes funções, pelas equações:

$$U = H - p\,v \qquad (4)$$
$$F = U - TS \qquad (5)$$
$$G = H - TS \qquad (6)$$

I.] *Entalpia*

Como se sabe, a entalpia de um gás perfeito é apenas função da temperatura (lei de Joule). Quer dizer, numa transformação isotérmica, a variação da entalpia de um gás perfeito é nula. Para gases reais, essa variação é diferente de zero. O objectivo deste estudo é, então, determinar a variação da entalpia de um gás real, numa transformação isotérmica. Para uma transformação em que variam a pressão e a temperatura dos valores iniciais ($p_1\,T_1$) aos valores finais ($p_2\,T_2$), a variação total da entalpia é

$$\Delta H = (\Delta H)_1 + (\Delta H)_2 \qquad (7)$$

em que:

ΔH_1 . . . variação da entalpia, à pressão constante p_1, da temperatura T_1 a T_2

ΔH_2 . . . variação da entalpia, à temperatura constante T_2, da pressão p_1 à pressão T_2.

Como se sabe, numa transformação isobárica, é:

$$\Delta H p = \int_{T_1}^{T_2} C_p\,\partial T \qquad (8)$$

sendo C_p o calor específico do gás à pressão p, a que se realiza a transformação.

I. 1] *Método dos diagramas generalizados*

Como se disse, pretende-se estudar a variação da entalpia com a pressão, a temperatura constante, isto é, pretende-se determinar o valor de:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T$$

As variáveis independentes são a pressão e a temperatura a que corresponde [1], como função característica, a entalpia livre G. Da respectiva equação de definição

$$G = H - T\,S \tag{9}$$

resulta que, a temperatura constante, é:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T - T\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T$$

ou

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T + T\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T \tag{10}$$

Por outro lado, numa transformação elementar, a expressão que traduz a variação de G é, como se sabe e resulta da equação (9):

$$\partial G = v\,\partial p - S\,\partial T \tag{11}$$

Tendo em atenção as propriedades das diferenciais exactas, vem desta equação:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T = v \tag{12}$$

e

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \tag{13}$$

Substituindo as equações (12) e (13) na equação (10) resulta finalmente:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \tag{14}$$

Esta expressão traduz a variação isotérmica da entalpia com a pressão, numa transformação elementar. Para obtermos o seu valor numa transformação finita, temos que integrar essa equação. Como os gases reais, à pressão nula, comportam-se como gases perfeitos, efectua-se essa integração considerando o intervalo de pressões (0,p). Nessas condições, vem:

$$\Delta H_T = H_{pT} - H_{oT} = \int_o^p \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \right] \partial p \tag{15}$$

donde, em virtude de:

$$H_{oT} = H^*_T$$

designando por H^* o valor da entalpia do gás suposto perfeito, resulta:

$$H_{pT} - H^*_T = \int_o^p \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \right] \partial p \tag{16}$$

A equação (16) traduz o desvio da entalpia de um gás real em relação à do gás perfeito. Vamos mostrar que, em conformidade com o princípio dos estados correspondentes, esse desvio é apenas função da pressão reduzida e da temperatura reduzida.

Na verdade, da equação:

$$pv = z\,R\,T \tag{17}$$

resulta que:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{z\,R}{p} + \frac{R\,T}{p}\left(\frac{\partial z}{\partial T}\right)_p$$

ou, substituindo na equação (16):

$$H_{pT} - H^*_T = -\int_o^p \frac{R\,T^2}{p}\left(\frac{\partial z}{\partial T}\right)_p \partial p$$

ou, ainda, em termos reduzidos:

$$H_{pT} - H^*_T = -R\,T_c \int_o^p \frac{T_R^2}{p_R}\left(\frac{\partial z}{\partial T_R}\right)_{pR} \partial p_R$$

donde:

$$\frac{H_{pT} - H^*_T}{T_c} = -R \int_o^p \frac{T_R^2}{p_R}\left(\frac{\partial z}{\partial T_R}\right)_{pR} \partial p_R \tag{18}$$

Como se vê, sendo z apenas função de p_R e T_R, o 2.º membro é uma função universal destes valores reduzidos, o mesmo sucedendo ao primeiro membro.

Na literatura [1] encontram-se diagramas que permitem determinar o valor do 1.º membro em função de p_R, para diferentes valores de T_R.

R. York e H. Weber [2] verificaram que os valores da entalpia calculados por este método conduzem a resultados diferentes dos determinados a partir da equação de Beattie-Bridgeman e baseados em dados experimentais. No entanto,

---

(1) *Técnica* — Dezembro, 1954.

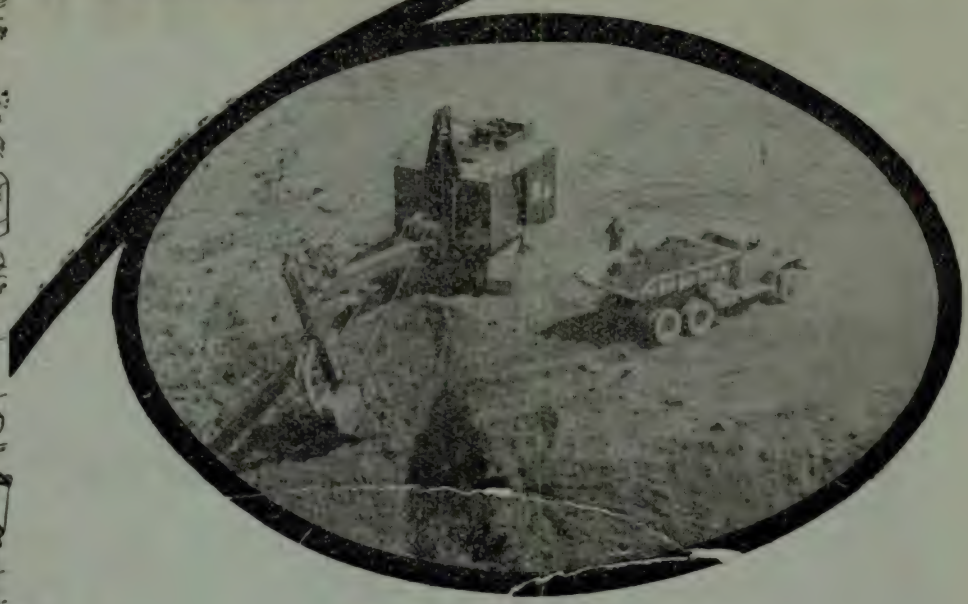
(1) Ver, por exemplo, «Chemical Process Principles», de Hougen e Watson, fig. 105 e 106, pág. 494.

(2) Ind. Eng. Ch. — 1940 — Março — pág. 389.

Escavadoras universais MENK

são fornecidas em vários tipos e tamanhos com colher de meio a cinco metros cúbicos

MENCK



Representantes em Portugal:

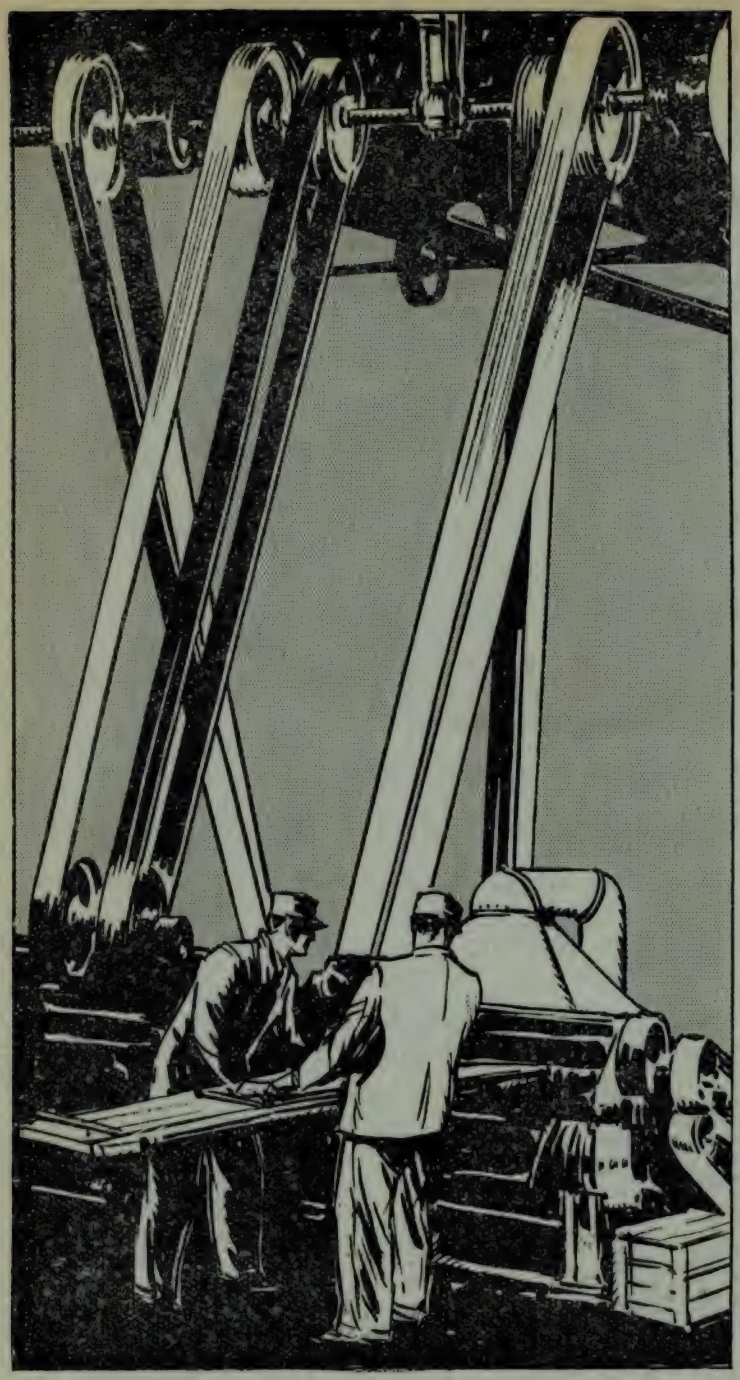
Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, L.da
PORTO — Praça da Liberdade, 114

Eng.º J. E. Michaëlis de Vasconcellos
LISBOA — R. Fialho de Almeida, 1

SKF

ROLAMENTOS
CHUMACEIRAS

LISBOA PRAÇA DA ALEGRIA 66-A Telef. 33995 – 34223
PORTO AV. DOS ALIADOS 150—152 Telef. 29776 – 29777



Nas grandes Fábricas

onde há transmissões importantes e se deitam contas a todos os factores que influem no custo da produção

é de rigor o equipamento integral com correias

GOODYEAR

após os resultados das primeiras experiências

Tente uma experiência e procederá igualmente

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS:

Canelas & Figueiredo, L.da

Rua dos Fanqueiros, 46

LISBOA

Telefones { 2 5058 / 2 4502

Telegramas: CANELASCO

GOODYEAR

uma boa concordância é obtida desde que se multiplique os valores assim obtidos por um factor que apelidaram factor de correlação e representaram por ϕ, da forma:

$$\phi = \left(\frac{T_c}{T_o}\right)^n \qquad (19)$$

em que:

T_c ... temperatura crítica do gás

T_o ... temperatura crítica do gás de referência

n ... expoente, função apenas de T_R.

Considerando o propano como gás de referência ($T_o = 370°K$), os referidos autores apresentaram um diagrama que permite determinar n em função de T_R. Os valores correspondentes de n e T_R são apresentados no quadro I.

QUADRO I

T_R	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
n	0,37	0,25	0,20	0,18	0,16	0,10	0,14

II.2] — *Método analítico*

Como mostraram H. M. Robinson e H. Bliss (1), das equações de estado consideradas resultam as expressões a seguir apresentadas, as quais traduzem a variação da entalpia com a pressão numa transformação isotérmica:

— equação de van-der Waals:

$$\Delta H_T = RTb_v\left[\frac{1}{(v_2 - b_v)} - \frac{1}{(v_1 - b_v)}\right] - 2\,a_v\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right) \qquad (20)$$

— equação de Wohl:

$$\Delta H_T = \left[RT\,b_\omega - \frac{a_\omega}{T}\right]\left[\frac{1}{v_2 - b_\omega} - \frac{1}{v_1 - b^\omega}\right] + \frac{2\,a_\omega}{b_\omega\,.\,T}\left[\log_e \frac{v_1}{v_2} \times \frac{v_2 - b_\omega}{v_1 - b_\omega}\right] + \frac{13}{6}\,\frac{C_\omega}{T^{4/3}}\left[\frac{1}{v_2^2} - \frac{2}{v_1^2}\right] \qquad (21)$$

(1) Ind. Eng. Ch. — 1940 — Março — pág. 396.

— equação de Beattie-Bridgeman:

$$\Delta H_T = \left[R\,T\,B_o - 2\,A_o - \frac{4\,R\,C_b}{T^2}\right]\left[\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right] + \left[\frac{3}{2}A_o\,.\,a_b - R\,T B_o\,b_b - \frac{5}{2}\,\frac{R\,B_o\,C_b}{T^2}\right] \times \left[\frac{1}{v_2^2} - \frac{1}{v_1^2}\right] + \frac{2\,R\,B_o\,C_b\,b_b}{T^2}\left[\frac{1}{v_2^3} - \frac{1}{v_1^3}\right] \qquad (22)$$

Esses autores verificaram que apenas a equação (22), resultante da equação de Beattie-Bridgeman, é satisfatória, conduzindo mesmo assim a desvios da ordem de 12 %.

II] *Entropia*

Normalmente, o valor da entropia dos gases vem dado em tabelas, referido a um estado perfeito hipotético, a uma pressão e temperatura determinados. (1) Sejam p_o e T_o estes valores de referência. Pretende-se, então, determinar a entropia de um gás real à pressão p e temperatura T. Essa determinação pode ser feita em 3 fases: (2)

a) determinando a entropia do gàs perfeito à pressão p_o e temperatura T, atendendo a que:

$$S^*_{p_oT} - S^*_{p_o T_o} = \int_{T_o}^{T} \frac{C_p}{T}\,\partial T \qquad (23)$$

b) determinando a entropia do gás perfeito à pressão p e temperatura T, atendendo a que:

$$S^*_{p\,T} - S^*_{p_o T} = -R\,\log_e \frac{p}{p_o} \qquad (24)$$

c) determinando, a partir de S^*_{pT}, o valor da entropia do gás real, à pressão p e temperatura T; o modo de efectivar esta determinação é a seguir apresentada.

(1) A pressão de referência é de 1 atmosfera.

(2) Afecta-se de um asterisco os valores relativos a gases perfeitos.

II. 1] *Método dos diagramas generalizados*

Como se viu (equação 13) é:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \qquad (25)$$

a qual integrada entre a pressão nula [1] à qual os gases se comportam como perfeitos, e a pressão p conduz à equação:

$$\Delta S = S_{pT} - S^*_{oT} = -\int_0^p \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \partial p \qquad (26)$$

Por outro lado, considerando novamente a equação (13) mas relativamente a um gás perfeito e integrando entre p = o e p = p, vem:

$$S^*_{pT} - S^*_{oT} = -\int_0^p \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)^*_p \partial p \qquad (27)$$

Subtraindo, termo a termo, as equações (26) e (27) resulta:

$$S_{pT} - S^*_{pT} = -\int_0^p \left[\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)^*_p\right] \partial p \qquad (28)$$

que é a expressão pretendida.

Fácil é de ver que o 2.º membro é apenas função de p_R e de T_R. Na verdade, como:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{z\,R}{p} + \frac{R\,T}{p}\left(\frac{\partial z}{\partial T}\right)_p \qquad (29)$$

e

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)^*_p = \frac{R}{p}$$

vem:

$$S_{pT} - S^*_{pT} = -\int_0^p \left[\frac{R}{p}(1 - z) + \frac{R\,T}{p}\left(\frac{\partial z}{\partial T}\right)_p\right] \partial p$$

ou, em termos reduzidos:

$$S_{pT} - S^*_{pT} = -\int_0^p \left[\frac{R}{p_R}(1 - z) + \frac{R T_R}{p_R}\left(\frac{\partial z}{\partial T_R}\right)_{pR}\right] \partial p_R \qquad (30)$$

O 2.º membro desta equação, como se vê, é apenas função de p_R e de T_R. Na literatura [1], apresentam-se diagramas que permitem determinar o valor do 1.º membro em função de p_R e de T_R.

II. 2] *Método Analítico*

Das equações de estado consideradas, resultam, como mostraram H. Robinson e H. Bliss as seguintes espressões:

— equação de van-der-Waals:

$$\Delta S_T = R \log_e \frac{v_2 - b_v}{v_1 - b_v} \qquad (31)$$

— equação de Wohl:

$$\Delta S_T = R \log_e \left(\frac{v_2 - b_w}{v_1 - b_w}\right) + \frac{a_w}{T^2 b_w}\left[\log_e \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{v_2 - b_w}{v_1 - b_w}\right] + \frac{2}{3}\frac{C_w}{T^{7/3}}\left[\frac{1}{v_2^2} - \frac{1}{v_1^2}\right] \qquad (32)$$

— equação de Beattie-Bridgeman:

$$\Delta S_T = R \log_e \frac{v_2}{v_1} - \left[R B_o + \frac{2 R c_b}{T^3}\right]\left[\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right] - \left[\frac{R B_o c_b}{T^3} - \frac{1}{2} R B_o b_b\right]\left[\frac{1}{v_2^2} - \frac{1}{v_1^2}\right] + \frac{2}{3}\frac{R B_o b_b c_b}{T^3}\left[\frac{1}{v_2^3} - \frac{1}{v_1^3}\right] \qquad (33)$$

Os mencionados autores verificaram que, para valores da temperatura iguais ou inferiores à temperatura crítica, a equação (33) resultante da equação de estado de Beattie-Bridgeman é nìtidamente superior às restantes, conduzindo a resultados cujo desvio, em relação a valores experimentais, é da ordem de 0,5 % e apenas para um ponto igual a 7 %. Para temperaturas ligeiramente superiores à temperatura crítica, as equações (31) e (33) satisfazem igualmente e para temperaturas bastante superiores à temperatura crítica qualquer dessas equações conduz a resultados aceitáveis.

---

[1] $S_{oT} = S^*_{oT}$

[1] Ver, por exemplo, o livro citado de Hougen e Watson.

III] *Calor específico a pressão constante*

Como se sabe, o calor específico, a pressão constante, dos gases perfeitos é só função da temperatura:

$$C^*_{pT} = C^*_{oT}$$

Pretende-se, então, determinar, para um gás real, a variação do calor específico a pressão constante com a pressão, numa transformação isotérmica. Como:

$$\partial S = \frac{C_p}{T} \partial T + \frac{h}{T} \partial p \qquad (34)$$

resulta, como consequência das propriedades dos diferenciais exactas [1], que:

$$\left[\frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{C_p}{T}\right)\right]_T = \left[\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{h}{T}\right)\right]_p$$

ou:

$$\frac{1}{T}\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = \left[\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{h}{T}\right)\right]_p$$

Atendendo a que [2]:

$$\frac{h}{T} = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

vem, finalmente:

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p \qquad (35)$$

ou integrando no intervalo (o, p):

$$C_{pT} - C^*_{oT} = -T\int_o^p \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p p \qquad (36)$$

(1) As derivadas cruzadas são iguais.
(2) Segundo fórmula de Clayperon.

Fácil é de ver que o 2.º membro da equação (36) é só função de p_R e de T_R. Na verdade, sendo:

$$p\,v = z\,R\,T$$

vem que:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{z\,R}{p} + \frac{R\,T}{p}\left(\frac{\partial z}{\partial T}\right)_p$$

donde

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p = \frac{R}{p}\left(\frac{\partial z}{\partial T}\right)_p + \frac{2\,R\,T}{p}\left(\frac{\partial^2 z}{\partial T^2}\right)_p$$

ou, substituindo na equação (36) e escrevendo-a em termos reduzidos:

$$C_{pT} - C^*_{oT} = -T_R\int_o^{p_R} \frac{R}{p_R}\left\{\left(\frac{\partial z}{\partial T_R}\right)_p + 2\,T_R\left(\frac{\partial^2 z}{\partial T^2_R}\right)_p\right\}\partial p_R$$

Na literatura [1] apresentam-se diagramas que permitem fazer a determinação de $(C_{pT} - C^*_{pT})$ em função de p_R e de T_R.

BIBLIOGRAFIA

— Chemical Process Principles — Parte II. Hougen and Watson.
— Chemical Engineering Thermodynamics, B Dodge.
— Brown, Lewis e Weber, Ind. Eng. Ch., 1934, pg 325 e 531.
— W. Lewis, Ind. Eng. Ch., 1936, pg 257.
— H. M. Robinson e H. Bliss, Ind. Eng. Ch., 1940, pg 396.
— R. York e H. Weber, Ind. Eng. Ch., 1940, pg 389.

(1) Ver, por exemplo, o livro citado de Hougen e Watson, fig 108, pg 500.

C. D. 621.311.5/91

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.) preparadas nos Serviços do R. N. C. a cargo da Companhia Nacional de Electricidade —

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 91,4 % dos totais do País.*

JUNHO

I — Elementos gerais

a) Mensais (mês de Junho) 10^6 kWh

	1954	1955	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	116,6 (2)	131,2 (4)	+ 13
Produção térmica (P_t) . .	4,3 (3)	1,6 (5)	— 63
Produção total (P_T) . . .	120,9	132,8	+ 10
Cons. electroquímico (C_{eq})	22,7	26,5	+ 16
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	81,2	90,6	+ 12
Consumo total (C_T) (1) . .	103,9	117,1	+ 13

b) Acumulados (de 1 de Janeiro a 30 de Junho) 10^6 kWh

	1954	1955	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	754,6 (6)	838,2 (8)	+ 11
Produção térmica (P_t) . .	23,9 (7)	23,2 (9)	— 3
Produção total (P_T) . . .	778,2	861,4	+ 11
Cons. electroquímico (C_{eq})	159,7	197,3	+ 24
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	514,8	561,4 (10)	+ 9
Consumo total (C_T) (1) . .	674,5	758,7	+ 13

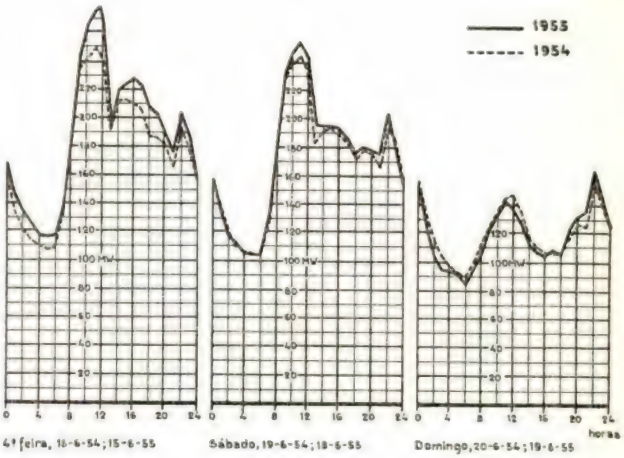
Notas:

(1) No consumo total (C_T) estão incluídas as perdas nas redes de transporte e distribuição.

(2) 96 % P_T. (3) 4 % P_T. (4) 99 % P_T. (5) 1 % P_T.
(6) 97 % P_T. (7) 3 % P_T. (8) 97 % P_T. (9) 3 % P_T.
(10) Obtido depois de corrigido o valor acumulado do mês anterior.

II — Diagramas de carga da produção

	4.ª feira: 16-6-954	4.ª feira: 15-6-955
Produção hidráulica (P_h) — MWh	4154	4597
Produção térmica (P_t) — MWh . .	136	39
Produção total (P_T) — MWh . . .	4290	4636
Utilização da ponta (U) — horas	16,9	15,6
Factor de carga (α)	0,70	0,69
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,43	0,41



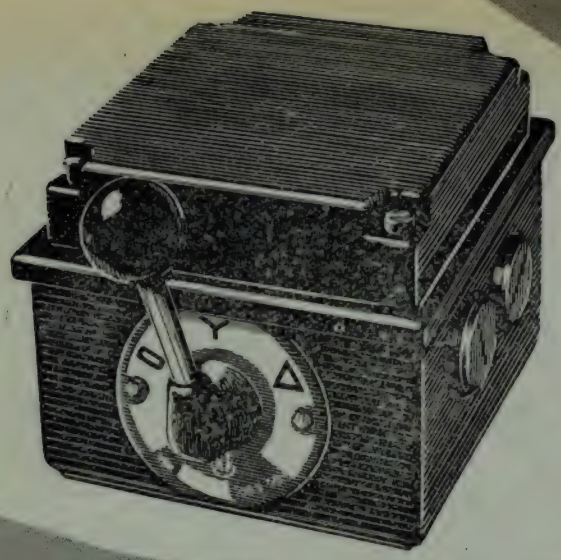
III — Energia armazenada nas principais albufeiras no fim do mês de Junho de 1955

Albufeira	Energia armazenada 10^6 kWh	Energia armazenada % (1)
Venda Nova	92,8	70,7
Salamonde	21,8	78,1
Caniçada	19,8	59,0
Guilhofrei	5,3	64,6
Lagoa Comprida	26,8	90,8
Santa Luzia	26,7	78,7
Cabril.	185,2	72,9
Castelo do Bode	152,4	92,9
Pracana.	4,9	47,7
Póvoa	11,0	96,6
Total	554,3	77,1

Notas:

(1) Coeficiente de enchimentoem energia das albufeiras.

JAYME DA COSTA, L.DA
LG
LANDIS & GYR
APARELHOS PARA
REGULAÇÃO TÉRMICA



Estamos em posição de fornecer em quantidade

DISJUNTORES ROTATIVOS DE CAMES

para tensão nominal de 500 vóltios e intensidade nominal de 25 Ampères, numa série variada de diferentes tipos: arrancadores Estrela/Triângulo, disjuntores-inversores e interruptores principais de comando para pequenos motores e aparelhos. Estes disjuntores dispõem de contactos de botão a prata com duração excepcional.

Prazos de entrega muito interessantes. Pedir pormenores sobre a importação a

HERBERT SCHINKEL

Avenida António Augusto de Aguiar, 187, 3.º Esq. — LISBOA — Tel. 44222

TECHNOIMPEX

EMPRESA HÚNGARA PARA O COMÉRCIO EXTERNO DE MAQUINARIA

Budapeste 62 B. P. 183 HUNGRIA

C. D. 625.1.042.001

PROBLEMAS DA VIA FÉRREA MODERNA

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) EDUARDO FERRUGENTO GONÇALVES

(Continuação)

4. — Circulação dos veículos sobre a linha férrea

Para a realização dos transportes a que se destinam os veículos ferroviários têm, por hipótese, de se deslocar sobre a via entre pontos lògicamente afastados.

Este deslocamento de um a outro ponto, consequência do movimento principal dos veículos ao longo da linha, corresponde mecânicamente a uma translação daqueles, da origem para o local de destino. Porém, em resultado do próprio funcionamento das suspensões do material rolante, das irregularidades do caminho de rolamento, e de reacções entre si dos veículos de um comboio durante a marcha, verifica-se, na prática, que este movimento principal de translação é perturbado por um certo número de movimentos secundários que, pondo em causa por um lado a a estabilidade da circulação do material, actuam por outro como uma resistência ao rolamento e como origem de um esforçamento suplementar da via férrea.

Parodi [1] manifesta a opinião de que «*a circulação sobre carris de um material especialmente construído para esse fim, constitui o que é especìficamente ferroviário no caminho de ferro*». Compreende-se aliás que assim seja, porquanto, tendo o combóio sobre carris nascido da evolução dos sistemas de deslocamento de cargas pesadas — evolução orientada no sentido de se rebocar uma dada carga, primeiro com o menor esforço, e depois também no menor tempo — é lógico que todos os problemas relativos à circulação dos veículos sobre a a linha tenham de ser considerados como de base, uma vez que afectam noções elementares da própria essência do caminho de ferro. Dizem-lhe especìficamente respeito.

Tratando-se de problemas directamente ligados a movimentos mecânicos, o recurso às leis e equações gerais da Dinâmica parece ser o método naturalmente adequado para o seu estudo, assimilando-se a circulação dos veículos a deslocamentos de móveis ao longo de uma trajectória fixa, que neste caso é materializada pela linha férrea.

Uma definição matemática correcta e exacta do movimento de um comboio, mesmo até apenas de um veículo isolado, apresenta contudo dificuldades práticas que devem ser ponderadas, já pela multiplicidade de equações a que se é conduzido, já pela complexidade de expressão analítica de algumas relações físicas que com essas equações se pretende traduzir. Outras variáveis haverá até que se não poderão relacionar explìcitamente entre si, por na interpenetração de influências que em problemas desta natureza por via de regra existe, não ser fácil avaliar em relação a cada uma, os graus dessas mesmas influências.

Sumàriamente, para caracterizar o movimento de um comboio, tornar-se-iam necessárias as seguintes equações :

1.º — Equações de ligação entre todos os veículos que formam o comboio ;
2.º — Equações dos movimentos individuais de cada um dos veículos, supostos em primeira aproximação como sólidos indeformáveis ;
3.º — Equações traduzindo as relações entre os elementos principais de cada um dos veículos, tendo em atenção o trabalho elástico dos seus elementos de união, especialmente das molas de suspensão ;
4.º — Equações das reacções da via férrea, atritos dos aros das rodas e fusos dos eixos, etc.

O número de equações assim obtido seria necessàriamente elevado, e o tratamento global do problema dentro desta ordem de ideias apresenta-se de pouco cómoda exequibilidade prática. Daí o recorrer-se em regra a estudos parciais ou

[1] H. Parodi — «La traction éléctrique et le chemin de fer».

à introdução de hipóteses simplificativas que, sem alterar a natureza dos problemas, os tornam de mais fácil consideração com os meios de estudo habitualmente disponíveis.

Em primeira aproximação, os veículos ferroviários, movendo-se, são obrigados a seguir uma linha fixa, que lhes é imposta pelo traçado da via. Num estudo mais cuidado há, porém, que ter em conta que as trajectórias seguidas pelos veículos, ainda que sensìvelmente paralelas ao traçado da linha, se afastam todavia dele, ora para um lado, ora para o outro como que em resultado de movimentos «pendulares» que animassem permanente ou acidentalmente as massas dos veículos sobrepondo-se ao movimento geral de translação [1]. São os movimentos secundários.

O conhecimento dos esforços suscitados sobre a via pela passagem do material rolante, requer o estudo prévio das características da circulação dos veículos sobre ela. É pelo menos natural que assim seja, pois a linha e o material rolante — locomotivas e material rebocado — encontram-se por natureza ìntimamente relacionados. Já aliás o haviamos referido.

Dentro do nosso esquema de trabalho importa por isso passar em revista as características principais dos movimentos de translação e secundários dos veículos.

a) *Movimento principal*

Tratando-se de um estudo de carácter geral, sem preocupações de rigor para além das aproximações consideradas suficientes e razoáveis nas aplicações correntes, pode admitir-se que a massa total m do veículo se encontra concentrada no respectivo centro de gravidade e que é este ponto material assim caracterizado que se desloca ao longo de uma linha fixa, paralela ao eixo da via férrea real.

Designemos por F a resultante das forças actuantes. Tomando eixos de referência arrastados pelo móvel e constantemente dirigidos segundo a tangente, a normal e a binormal à trajectória, têm-se as seguintes equações intrínsecas do movimento

$$\begin{cases} m \dfrac{dv}{dt} = F_t(v, s) \\ m \dfrac{v^2}{\rho} = F_n(v, s) \\ 0 = F_b(v, s) \end{cases} \qquad (1)$$

em que F_t, F_n e F_b são as projecções da força F, — função da velocidade de deslocamento e da posição do móvel no espaço — respectivamente sobre a tangente, a normal e a binormal.

A primeira equação do sistema (1) define o o movimento principal ao longo da trajectória. Atendendo a que é

$$\frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{ds}$$

a referida equação pode transformar-se, e vem

$$m\, v \frac{dv}{ds} = F_t(v, s) \qquad (2)$$

ou ainda

$$m\, v\, dv = d\left(\frac{1}{2} m\, v^2\right) = F_t(v, s).\ ds \qquad (3)$$

Esta equação, traduzindo o teorema das forças vivas, mostra que no movimento principal de translação do comboio, a variação da energia cinética deste é, como seria de esperar, igual ao trabalho das forças actuando sobre ele.

Na prática, para se atender aos efeitos de inércia não desprezáveis das partes girantes das locomotivas e dos veículos rebocados, a massa m figurando nas equações anteriores deve ser convenientemente majorada obtendo-se uma massa fictícia m', que substituirá m nas referidas equações, o que permite conservar a forma clássica destas.

No que respeita ao segundo membro da equação (2) — $F_t(v, s)$ —, note-se o seguinte: os veículos que formam a composição de um comboio só se põem naturalmente em movimento quando solicitados por um esforço de tracção E_t desenvolvido pelo tractor que os reboca; por outro lado, para que esse deslocamento da posição de repouso seja possível e o movimento depois se mantenha, há em cada instante que vencer um certo número de resistências, que neste trabalho não interessa pormenorizar, mas que designamos globalmente por R. Importa

[1] Robert Lévi — «Erreurs faciles et vérités paradoxales relatives au lacet» — Bulletin de l'Association Internationale du Congrés des Chemins de Fer — Agosto de 1952.

contudo referir que o esforço de tracção E_t é essencialmente função da velocidade de marcha

$$E_t = E_t\ (v) \qquad (4)$$

e ainda que as resistências ao movimento podem ser função da velocidade de marcha ou do traçado em planta e perfil da via, escrevendo nós genèricamente

$$R = R\ (v, s) \qquad (5)$$

O valor de F_t será em cada instante, como é evidente, dado por

$$F_t = E_t - R \qquad (6)$$

e a forma final da equação do movimento de translação do comboio pode então escrever-se

$$m'v \frac{dv}{ds} = E_t\ (v) - R\ (v, s) \qquad (7)$$

As funções E_t (v) e R (v, s) têm valores definidos. Não quer isto porém dizer que elas sejam sempre susceptíveis de expressão analítica rigorosa.

Considerada juntamente com a equação fundamental

$$v = \frac{ds}{dt} \qquad (8)$$

a equação (7) pode conduzir por integração à obtenção de duas funções importantes na prática.

$$v = v\ (s) \qquad (9)$$

e

$$t = t\ (s) \qquad (10)$$

A primeira — $v = v\ (s)$ — dá-nos a lei de variação da velocidade do comboio ao longo do caminho percorrido; a segunda — $t = t\ (s)$ — habilita-nos a calcular os tempos de percurso.

Sobre estas funções assenta o estudo da dinâmica da Exploração ferroviária, pois elas permitem a fixação teórica das marchas dos comboios e dos programas de exploração. Em relação à via férrea, o movimento de translação apenas deve ser causa de esforços normais, isto é, daqueles que sempre se admitiram como os que a passagem do material deve originar sobre a superestrutura da linha, supondo o deslocamento dos veículos fazendo-se segundo uma translação pura. Em relação aos problemas actuais da via férrea, os movimentos secundários sobrelevam, contudo, em importância dos efeitos produzidos, o movimento principal.

A segunda equação do sistema (1)

$$m \frac{v^2}{\rho} = F_n\ (v, s) \qquad (11)$$

merece também referência especial. F_n (v, s) representa a componente radial das forças actuantes sobre o veículo em marcha, e tende a fazê-lo deslocar transversalmente na linha. Em alinhamento recto é $\rho = \infty$ e consequentemente vem $F_n = o$. Nas curvas do traçado, porém, em que ρ tem lògicamente um valor finito, a equação (11) dá-nos o valor da força centrífuga que tende a desviar o veículo para o exterior da curva. Aquela expressão é aliás perfeitamente equivalente a estoutra que nos é familiar

$$F = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{\rho} \qquad (12)$$

em que são:

F — a força centrífuga
P — o peso do veículo
g — a aceleração da gravidade
v — a velocidade de circulação
ρ — o raio da curva

O aparecimento da força centrífuga nas curvas pode considerar-se como uma perturbação inevitável do movimento principal. O seu efeito tem influência directa e imediata sobre o movimento secundário de balanceio. No entanto este último, como referiremos, não é consequência ùnicamente da força centrífuga. Nem a acção desta força se limita à contribuição para o balanceio, porquanto o seu efeito fundamental é procurar fazer sair os veículos para fora da sua trajectória, forçando-os contra a fila exterior de carris da curva. Só a parte superior do veículo, ligada elàsticamente aos rodados, fica em condições de tomar movimentos transversais independentemente destes.

b) *Movimentos secundários*

No material rolante ferroviário, o leito, que suporta a caixa ou o mecanismo motor, repousa sobre os rodados por intermédio de elementos

elásticos — as molas de suspensão — destinados a absorver as reacções da via à sua passagem, tornando a circulação mais suave e mais cómoda. Esses elementos elásticos e afins constituem no seu conjunto a suspensão dos veículos.

Considerando o ponto de vista estático, o peso de um veículo deve distribuir-se igualmente sobre todos os seus eixos. Isto contudo só é possível se as suspensões que lhes respeitam se encontrarem em condições absolutamente idênticas, permitindo assim um completo equilíbrio na distribuição de cargas. Sob o aspecto dinâmico este ponto é do maior interesse, pois dele depende directamente a estabilidade e a uniformidade da marcha. Além disso uma desigual distribuição de cargas sobre os eixos de um veículo, ou até sobre as duas rodas de um mesmo eixo, acarreta um desigual esforçamento da via, o que é tanto mais importante quanto deste facto podem resultar esforços muito superiores aos que seria razoável admitir, senão mesmo até acções com carácter periódico que ponham em risco a segurança relativa dos vários elementos da via férrea.

Verifica-se na prática, durante a marcha dos veículos, e por efeito das reacções das descontinuidades da linha e do traçado, das características de transmissão às rodas do esforço motor nas locomotivas, por desigual carregamento dos veículos ou por outras causas, que se geram movimentos relativos entre as partes suspensa e não suspensa do material rolante, os quais se traduzem por um afastamento, ora para um, ora para outro lado, das massas suspensas em relação à vertical das massas não suspensas. Este afastamento tem como consequência imediata a desiguldade e sobretudo a variabilidade da distribuição das cargas sobre os eixos. Uma consideração mais profunda do fenómeno revela-lhe características de periodicidade directamente relacionada com as condições de trabalho dos elementos da suspensão.

«O aumento das velocidades correntes, especialmente depois de as electrificações terem permitido a realização de velocidades ultrapassando 120 km/h, pôs em evidência a necessidade de um acréscimo de conforto do material circulante, melhorando a sua tranquilidade de marcha, através de uma melhoria das condições de suspensão, pois é sabido que o conforto está relacionado com o período de oscilação desta e este último depende, em igualdade de todas as outras circunstâncias, do peso das caixas dos veículos» (1).

Ora é precisamente em resultado das oscilações da suspensão dos veículos e da sua influência na repartição das cargas, que os movimentos secundários assumem especial importância.

Para os identificar, suponhamos, por exemplo, um veículo deslocando-se sobre a linha férrea, e considerem-se arrastados por ele três eixos cartesianos ox, oy e oz, sendo ox paralelo ao eixo longitudinal da via (fig. 1).

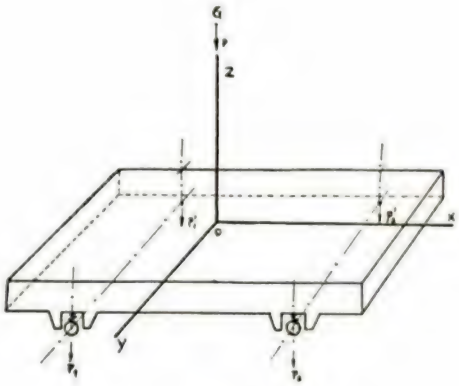


Fig. 1

O conjunto das molas de suspensão é susceptível de permitir à caixa do veículo oscilações em vários sentidos, sob a acção das diferentes forças perturbadoras da uniformidade de marcha, conferindo assim ao sistema vários graus de liberdade.

O funcionamento elástico da suspensão, sob as acções da via, é causa de três movimentos secundários importantes do leito e da caixa em relação aos rodados:

1.º — Uma translação segundo oz — *movimento de trepidação;*

2.º — Uma rotação em torno de oy — *movimento de galope ou de cabeceio;*

3.º — Uma rotação em torno de ox — *movimento de balanceio.*

(1) Chan et Mausin — «Stabilité de marche des bogies» — Bulletin de l'Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de Fer — Dez.º 1954.

Interessando o conjunto do veículo, importa destacar mais os seguintes movimentos:

1.º — De rotação em torno de oz — *movimento de lacete ou de serpenteio;*

2.º — de translação segundo o eixo longitudinal ox — *movimento de vai-vém;*

3.º — De translação segundo oy — *movimento de choque lateral.*

Destes movimentos o mais perigoso para a estabilidade da via é porventura o lacete.

Robert Levi define-o como *«um movimento complexo que afecta os eixos dos veículos independentemente da sua rotação e das suas oscilações verticais, ou seja, o conjunto de movimentos transversais dos eixos e das variações que se produzem na sua orientação».*

Interessa referir com algum pormenor mais a natureza destes movimentos, nomeadamente o seu carácter de periodicidade, elemento importante para os estudos relativos à via férrea. É o que se fará nos parágrafos seguintes.

As suspensões dos veículos têm, resumindo, duas funções importantes a cumprir [1]:

a) Amortecer os efeitos que sobre o veículo exercem as irregularidades da via, absorvendo o trabalho proveniente do choque;

b) Proteger a via diminuindo os efeitos dos choques das rodas sobre os carris.

---

[1] «Caminhos de Ferro» — I. S. T. — Lições do Professor Eng.º Leite Pinto — vol. II, 3.ª edição, 1951-52.

Mais concretamente as determinantes fundamentais de cada um dos movimentos referidos são as seguintes:

a) Trepidação — irregularidades e soluções de continuidade do caminho de rolamento (juntas e aparelhos de via, por exemplo);
b) Galope — juntas dos carris, especialmente as juntas concordantes, por darem origem a choques não simultâneos sofridos pelos eixos dianteiros e trazeiros dos veículos;
c) Balanceio — entrada brusca dos veículos nas curvas; irregularidades de nivelamento transversal da linha; juntas dos carris do tipo «juntas discordantes»;
d) Lacete — conicidade dos aros das rodas e contacto roda-carril; irregularidades da via em plano horizontal; folgas existentes entre as caixas de lubrificação e as placas de guarda em que aquelas se encontram montadas;
e) Vai-vém — variações do esforço de tracção; esforços de inércia das massas sujeitas a movimento alternativo;
f) Choque lateral — folga excessiva entre as caixas de lubrificação e as placas de guarda permitindo um acentuado deslocamento lateral nas entradas das curvas ou sob a acção do lacete.

Qualquer desnível brusco ou mudança de direcção, por menor que seja, acarreta portanto uma perda da posição de equilíbrio das massas suspensas. Este facto tem desde logo como resultado a produção de uma série de oscilações de amplitude e duração variáveis com as condições do movimento perturbador e as características de vibração do material rolante.

(Continua)

C. D. 621.316.923

BOBINAS TÉRMICAS; ALGUNS FACTORES QUE INFLUENCIAM O SEU COMPORTAMENTO

POR MARIA LUÍSA BERNARDO LUZ
(Do curso de Engenharia Electrotécnica)

1. Introdução

As bobinas térmicas, de uso generalizado nos sistemas telefónicos, são elementos de protecção contra sobrecargas fracas mas de duração prolongada. De construção muito simples, são essencialmente formadas por uma bobina com carretel metálico, no interior do qual está soldada uma espiga, sujeita a tensão mecânica, que se dessolda no caso de aparecer no circuito uma sobrecarga lenta cujo calor libertado por efeito Joule é suficiente para provocar a fusão da solda.

O movimento da espiga resultante provoca ou uma interrupção do circuito a proteger ou a sua ligação à terra, conforme os tipos de bobina térmica. Em qualquer caso, é necessário que o «tempo de disparo» da bobina esteja relacionado com a corrente de sobrecarga; é ainda evidente que a bobina não deve disparar para valores normais da corrente no circuito.

Na prática verifica-se, contudo, que além do valor da corrente de sobrecarga há outros factores que influenciam o tempo de disparo da bobina. Com este estudo pretendeu-se analisar a influência dos seguintes parâmetros no tempo de disparo:

Intensidade de corrente contínua
Resistência óhmica
Temperatura ambiente

É evidente que dos dois primeiros parâmetros depende o calor libertado por efeito Joule; o terceiro parâmetro condiciona o calor libertado por radiação, a temperatura de equilíbrio entre o calor produzido e o calor radiado e, indirectamente, o tempo de disparo.

2. Características das bobinas térmicas ensaiadas

Na fig. 1 indica-se em pormenor o tipo de construção das bobinas ensaiadas; a espiga E encontra-se soldada ao núcleo N por uma solda de baixo ponto de fusão e está, em funcionamento normal, mantida em tensão mecânica por uma mola em forquilha através da cabeça C da espiga. Os terminais da bobina B estão soldados, respectivamente ao núcleo N e à cabeça da bobina Cb. A peça de baquelite I, que constitui o corpo da bobina, tem a dupla missão de estabelecer o isolamento entre o núcleo N e a cabeça Cb e de proteger mecânicamente o conjunto. Sob o ponto de vista exterior, o circuito é fechado através de ligações respectivamente à espiga E (pela mola de tensão) e à cabeça Cb.

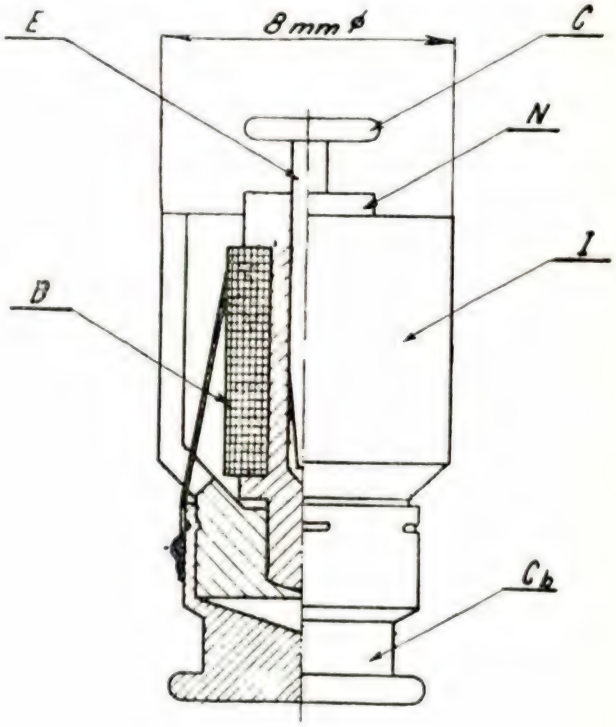


Fig. 1

As características nominais de disparo das bobinas ensaiadas são as seguintes:

Intensidade de corrente contínua de disparo . 0,5 A.

Tempo de disparo (para uma temperatura ambiente de 23° C.) . . entre 25 e 40 seg.
Resistência óhmica . . 3,2 ohm

3. Influência da intensidade de corrente no tempo médio de disparo

Para a determinação desta influência foi preciso realizar ensaios sobre grande quantidade de bobinas de modo a estabelecer os tempos médios, calculados como a média aritmética das leituras feitas.

As conclusões obtidas foram resumidas nos gráficos da fig. 2.

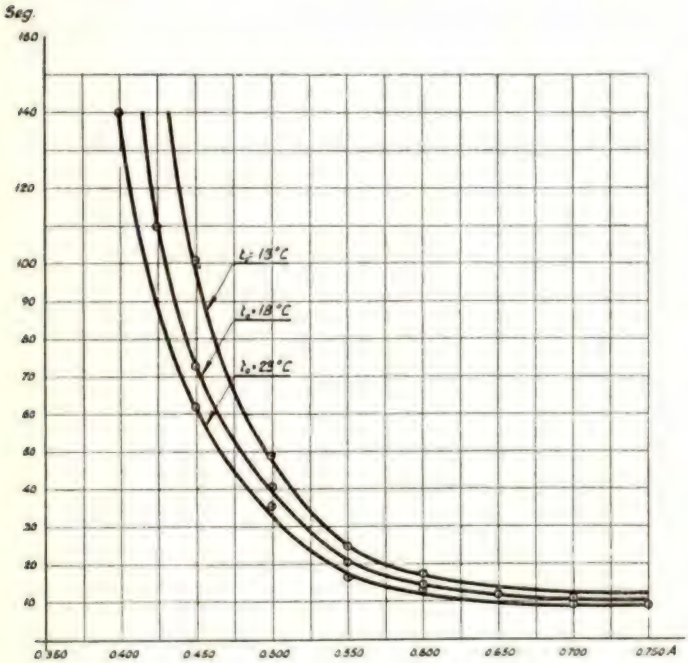


Fig. 2 — Variação do tempo médio de disparo com a corrente, para as temperaturas ambientes de 13° C, 18° C e 23° C

Da análise destes gráficos se conclui ter a intensidade de corrente uma influência muito grande — uma redução de 10 % na corrente corresponde a um aumento no tempo de disparo de cerca de 80 a 90 % e um aumento de 10 % na corrente corresponde a uma diminuição no tempo de disparo de cerca de 50 %. Um erro de ± 2 % na corrente (dentro da precisão de aparelhos de medida industriais) conduz a uma imprecisão no valor do tempo de disparo de ± 15 a 20 %.

Uma conclusão importante a obter é de que estes ensaios devem, portanto, ser feitos usando um amperímetro de precisão não inferior a 0,5 %.

4. Influência da temperatura ambiente no tempo médio de disparo

Os gráficos da variação do tempo médio de disparo em função da temperatura ambiente para diferentes valores da intensidade de corrente estão representados na fig. 3.

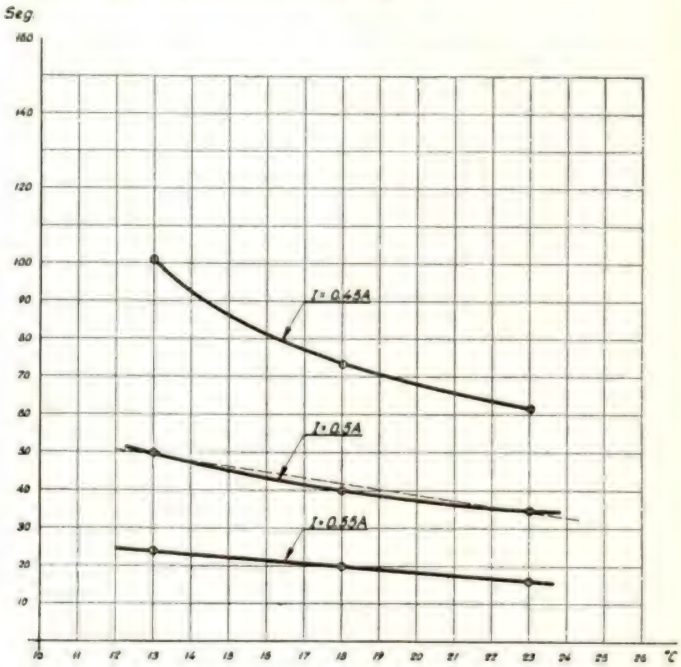


Fig. 3 — Variação do tempo médio de disparo com a temperatura ambiente para valores de corrente de disparo de 0,45 A, 0,5 A e 0,55 A

Tomando a variação como aproximadamente linear é possível estabelecer a seguinte relação, grosseiramente aproximada

$$t_{\theta_1} = t_{\theta_0} - \alpha\ (\theta_1 - \theta_0)$$

em que

θ_1, θ_0 — temperaturas ambientes
t_{θ_1} — tempo de disparo à temperatura ambiente θ_1 °C
t_{θ_0} — tempo de disparo à temperatura ambiente θ_0 °C
α — coeficiente da variação de tempo de disparo com a temperatura seg/°C.

O valor de α depende da intensidade de corrente. Para a corrente nominal de 0,5 Amp. o valor de α é da ordem de 1,5 seg/°C.

Dada a grande dependência do tempo de disparo com a temperatura ambiente, conclui-se que os ensaios de verificação de bobinas devem ser efectuados sempre à mesma temperatura, ou então dever-se-á tomar em linha de conta a correcção dada pela expressão anterior.

5. Influência da resistência óhmica no tempo médio de disparo

Os gráficos da variação do tempo médio de disparo com a resistência óhmica são representados na fig. 4 de onde se conclui a necessidade de manter uma uniformidade de fabrico, a maior

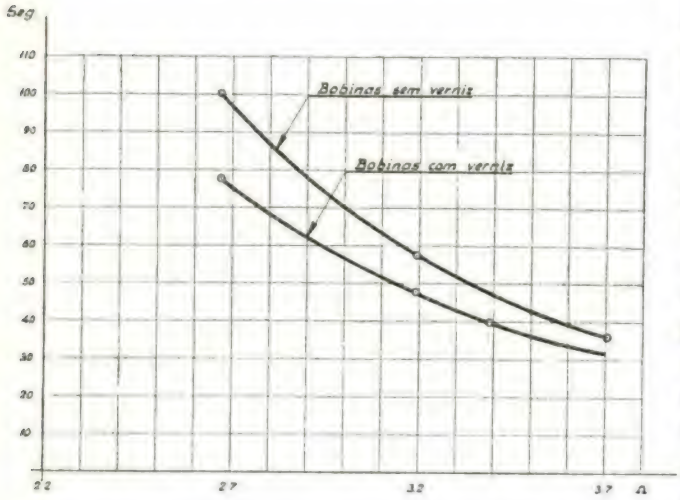


Fig. 4 — Variação do tempo de disparo com a resistência para uma corrente de 0,5 A à temperatura de 19 °C

possível, no que se refere à resistência do enrolamento da bobina; este factor tem uma importância bastante grande pois que o efeito de elongação resultante da tensão mecânica aplicada ao fio durante a bobinagem pode provocar alterações na resistência óhmica em virtude das variações resultantes no comprimento e na secção do fio condutor. Quando a bobinagem é manual, podem encontrar-se diferenças sistemáticas nos tempos de disparo de bobinas feitas por operários diferentes.

Os gráficos apresentados permitem ainda prever qual o valor mais conveniente da resistência para conseguir um determinado tempo de disparo para a corrente nominal indicada.

Na fig. 4 indicam-se dois gráficos dizendo, respectivamente, respeito a bobinas com verniz e sem verniz o que permite também avaliar a influência deste pequeno pormenor de construção.

6. Conclusões

A análise feita da influência dos parâmetros indicados no tempo de disparo é de muito interesse quer sob o ponto de vista do utilizador das bobinas quer sob o ponto de vista do fabricante. Ao primeiro dá indicação dos tempos de disparo que haverá que esperar para as diferentes temperaturas ambientes e ainda o grau de sensibilidade do tempo de disparo em relação à corrente. Ao fabricante é possível, através do estudo feito, comparar resultados de ensaios realizados a temperaturas diferentes tendo em consideração a lei verificada; é ainda possível estabelecer o valor mais conveniente da resistência óhmica de bobinas a fabricar para com uma determinada corrente e para uma certa temperatura ambiente, se conseguir o tempo de disparo desejado.

Conclui-se ainda do estudo feito que os amperímetros a utilizar nos ensaios de bobinas térmicas devem ter uma precisão da ordem de 0,5 % se se pretendem determinar com uma precisão da ordem de ± 5 % os tempos de disparo.

Nota final

Desejamos agradecer à Direcção Técnica da Standard Eléctrica a autorização dada para publicar os resultados do estudo feito e a orientação e as facilidades que nos foram dadas na realização deste estudo.

Pincéis para artistas que são uma perfeição

Fabricantes de pincéis para artistas há cerca de 200 anos, a Reeves está apta a satisfazer todas as exigências de pintores, desenhadores e autores de projectos, em pincéis para aguarela e óleo.

A perícia de gerações de especialistas garante um produto de qualidade inigualável.

Reeves

ENFIELD — MIDDLESEX — INGLATERRA

Representante em Portugal:

A. LOPES DA SILVA

R. dos Fanqueiros, 15-2.º D.to LISBOA

O NOME REEVES É UMA GARANTIA DE CONFIANÇA

XYLAMON assegura uma **PROTECÇÃO TOTAL** da madeira contra todos os seus parasitas: fungos, insectos e teredo.

XYLAMON

Existe em várias qualidades, umas preventivas outras curativas.

XYLAMON é um produto de EMPREGO FÁCIL E ECONÓMICO

Experiências feitas no LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, comprovam OFICIALMENTE em Portugal a excelente qualidade do XYLAMON

PARA COMPRAS E ESCLARECIMENTOS:

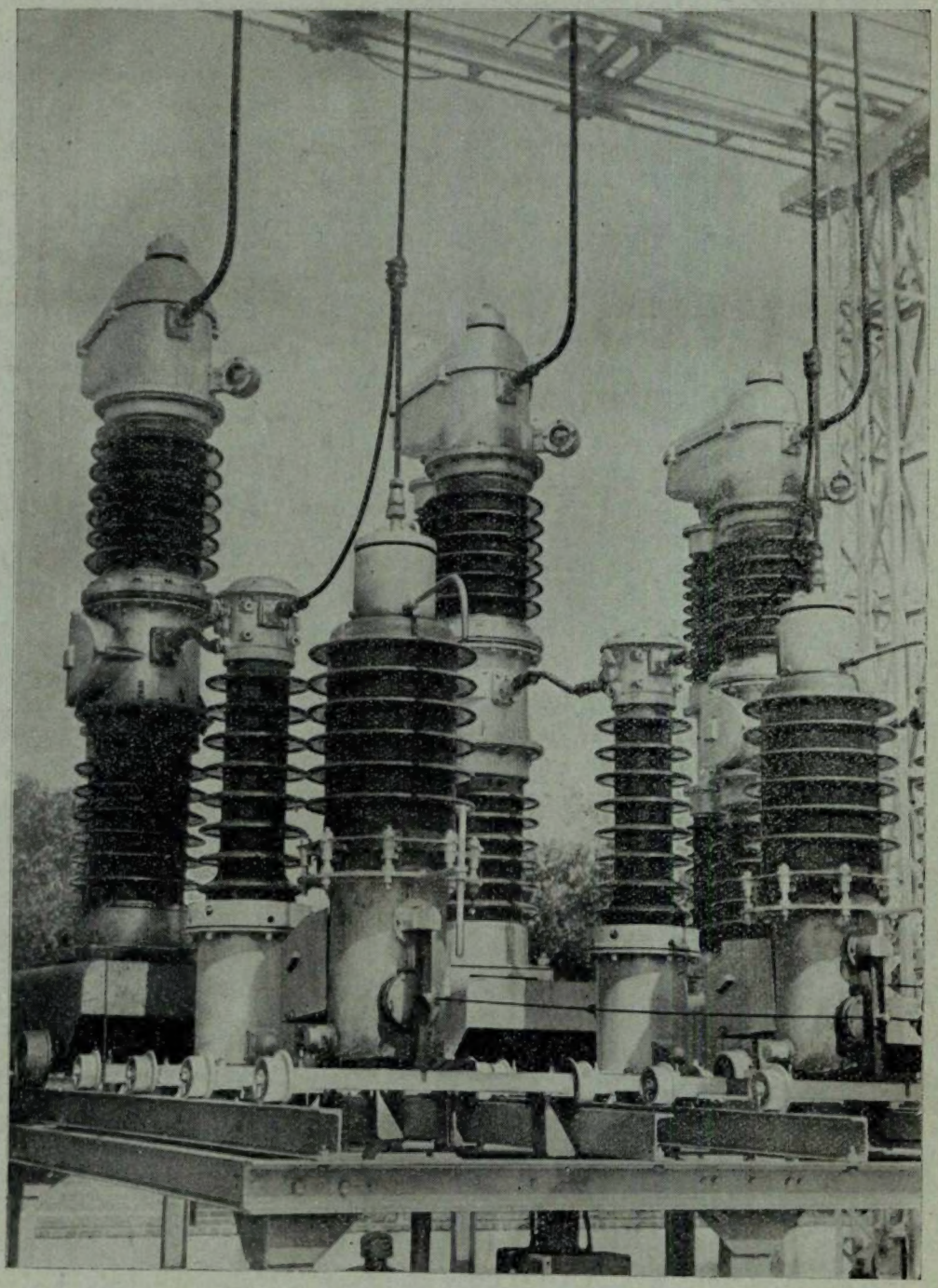
SOMIPA ◆ Rua Fialho de Almeida, 3, 4.º E. ◆ Tel. 5 1512

LISBOA

SAVOISIENNE

AIX-LES-BAINS

Ateliers de Construction de Transformateurs de la Compagnie Générale d'Electricité



Transformadores de tensão, instalados na Subestação do Entroncamento
da Hidro-Eléctrica do Alto Alentejo

Delegados

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos Industriais, 4-1.º ✻ às Cortes ✻ LISBOA ✻ Telefs. 66 06 92 - 66 06 04 - 66 60 82

C. D. 621.515.5:621.436.13.001.2

Sobre o projecto de um grupo turbo-compressor de sobrealimentação para um motor Diesel a dois tempos

Estudo efectuado na Sala de Construção de Motores do I. S. T. por

ADELINO JOSÉ RODRIGUES SOARES DE MELLO
FERNANDO ALBERTO CARNEIRO MARQUES DE OLIVEIRA
JOSÉ CARLOS PINTO SOROMENHO VIANA BAPTISTA
(do Curso de Engenharia Mecânica e Aeronáutica)

(Conclusão)

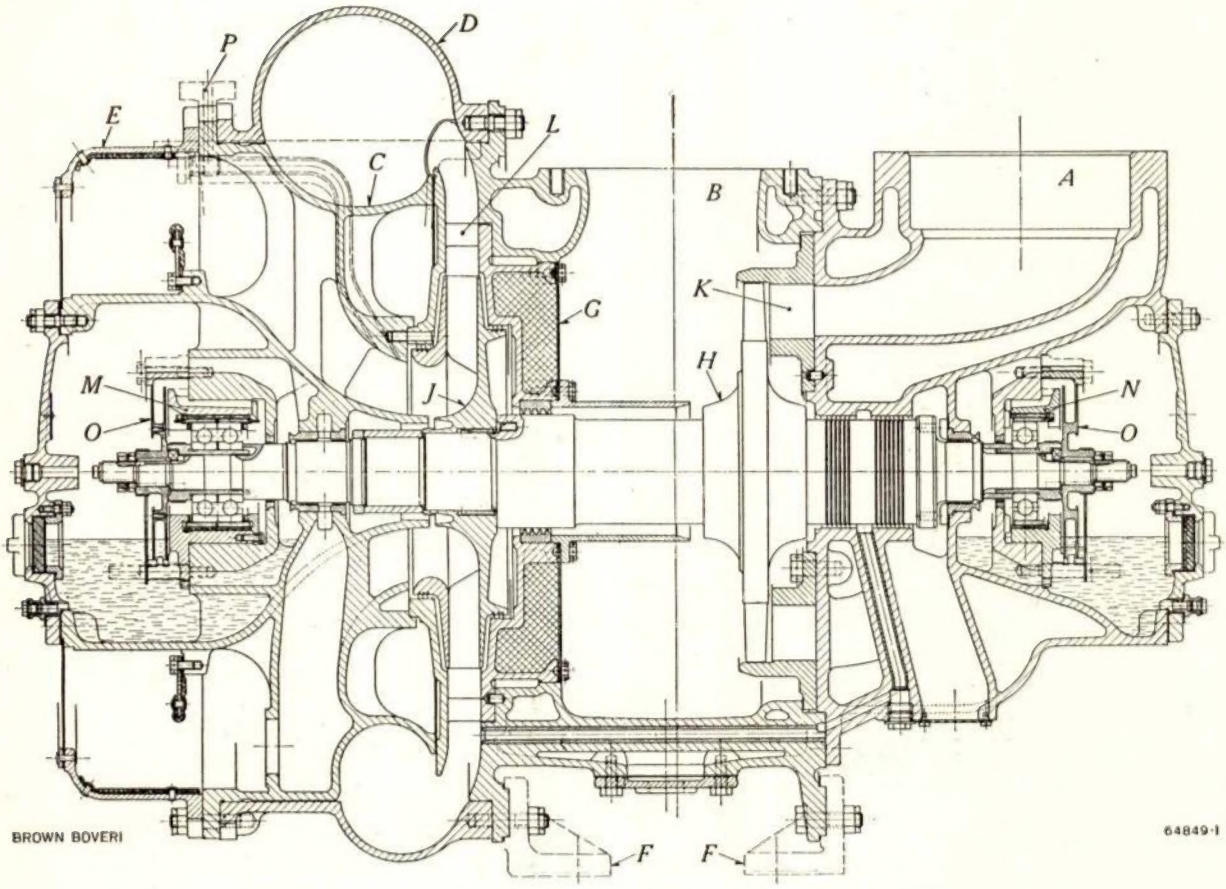


Fig. 1 — Corte dum turbo-compressor de sobrealimentação, tipo VTR 320.

Gravura gentilmente cedida pela B. B. C.

A = entrada dos gases de escape, refrigerada por água
B = saída dos gases de escape, refrigerada por água
C e *D* = envólucro do compressor
E = aspirador do ar, com silencioso
F = sapatas de fixação
G = divisória com isolamento térmico
H = veio da turbina e compressor
J = roda do compressor
K = tubeiras
L = difusor
M e *N* = chumaceiras
O = anel de lubrificação
P = tomada para a ventilação do carter do motor.

Publica-se a gravura deste turbo-compressor, ao qual o referente a este projecto é construtivamente semelhante, por impossibilidade de reprodução do desenho efectuado na Sala de Construção de Motores, que difere essencialmente da gravura acima, nas seguintes características:

a) roda do compressor sem coroa exterior
b) envólucro do compressor de secção rectangular
c) turbina com disco de igual resistência.

II — CÁLCULO DO COMPRESSOR

Cálculo dum compressor centrífugo, dum só andar, destinado a comprimir 9085 kg de ar à pressão de 1,350 kg/cm², supondo o ar à pressão e temperaturas inciais de 1,033 kg/cm² e 15° C.

O compressor gira a 11.300 r.p.m.

A — Cálculo de salto adiabático total

1 — *Taxa de compressão*

$$\varepsilon = \frac{1,35}{1,033} = 1,315$$

2 — *Salto adiabático*

Supondo a compressão adiabática, a entalpia (também chamada salto adiabático) que é necessária fornecer a cada quilo de ar é dada por

$$H_{ad} = A \frac{RT_a}{\frac{K-1}{K}} \left(\varepsilon^{\frac{K-1}{K}} - 1\right)$$

Para o ar $\frac{K-1}{K} = 0,283$

$$R = 29,23$$
$$T_a = 288$$
$$A = \frac{1}{427}$$

$$H_{ad} = \frac{29,23 \times 288}{427 \times 0,283} \left(1,315^{0,283} - 1\right)$$

$$H_{ad} = 5,62 \text{ Cal/kg}$$

B — Cálculo do impulsor

1 — *Cálculo do diâmetro de saída do impulsor*

O cálculo do diâmetro exterior da roda do compressor faz-se a partir dum coeficiente empírico K'.

Das equações fundamentais dos compressores tira-se a relação

$$H = K' \frac{U_2^2}{g}$$

em que H é o salto adiabático por andar, U_2 a velocidade periférica de saída e g a aceleração da gravidade. K' é o inverso da percentagem da energia total fornecida pelo compressor ainda não transformada em pressão, à saída do impulsor.

Como

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$$

vem

$$H = K' \frac{\pi^2 D_2^2 n^2}{3600\, g}$$

donde

$$D_2 = \frac{60}{\pi} \frac{\sqrt{H}}{n\sqrt{K'}} \sqrt{g}$$

ou, finalmente

$$D_2 = 59,7 \frac{\sqrt{H}}{n\sqrt{K'}}$$

Para a equação ser homogénea H deveria ter como unidade kgm/kg ou seja m.

O valor de K' está geralmente compreendido entre 0,5 e 0,75. Por razões construtivas houve que adoptar, neste caso, K' = 0,9.

$$H = 5,62 \text{ Cal/kg} <> 2405 \text{ m}$$

$$D_2 = 59,7 \frac{\sqrt{2405}}{11300\sqrt{0,9}} = 317 \text{ mm.}$$

$$D_2 = 317 \text{ mm}$$

2 — *Cálculo de secção de entrada*

Fazendo o traçado do diagrama de entrada e os cálculos para uma primeira tentativa de determinação da energia consumida, verificou-se que a velocidade mais conveniente era de 72,5 m/seg.

Arbitramos por isso a velocidade absoluta de entrada

$$V_a = 72,5 \text{ m/seg}$$

a) *Cálculo da queda adiabática na entrada*

$$H_a = \frac{A V_a^2}{2g} = 1,195 \times 0,525 = 0,628 \text{ Cal/kg}$$

b) *Diminuição da pressão à entrada*

Sendo

$$\varepsilon = \frac{p_o}{p_1}$$

A relação $\frac{p_o}{p_1}$ é dada pela expressão da energia duma expansão adiabática

$$\varepsilon^{\frac{K-1}{K}} - 1 = \frac{\frac{K-1}{K} H_a}{ART_a}$$

$$t_a = 15^o\ C$$

$$T_a = 288^o\ K$$

$$\frac{K-1}{K} = 0{,}283$$

donde

$$\varepsilon^{0{,}283} - 1 = \frac{0{,}283 \times 0{,}628 \times 427}{29{,}23 \times 288} = 0{,}0092$$

donde

$$\varepsilon = 1{,}033$$

logo

$$p_1 = \frac{p_o}{\varepsilon} = \frac{1{,}033}{1{,}033} = 1\ kg/cm^2$$

$$p_1 = 1\ kg/cm^2$$

c) *Cálculo da temperatura à entrada*

$$T_1 = \frac{T_o}{\varepsilon^{0{,}283}} = \frac{288}{1{,}0092} = 286{,}5$$

$$T_1 = 286{,}5\ ^oK$$

d) *Cálculo do peso específico*

$$\gamma_1 = \frac{p_1}{RT_1} = \frac{1}{29{,}23 \times 286{,}5} = 1{,}195\ kg/m^3$$

e) *Caudal volumétrico*

Caudal mássico

$Q_m = 9085$ kg h

Arbitrando uma percentagem de perdas de caudal, por fugas e ventilação no compressor, de 8 %, temos um caudal de

$$Q_m = 9085 + 0{,}08 \times 9085 = 9810\ kg\ h$$

Esta perda de caudal por fugas agora arbitrada será verificada numa das secções seguintes.

$$Q_{V_o} = Q_{V_1} = \frac{9810}{1{,}195} = 8200\ m^3/h = 2{,}28\ m^3/seg$$

$$Q_{V_o} = 2{,}28\ m^3/seg$$

f) *Secção de entrada*

$$S_a = \frac{Q_{V_o}}{V} = \frac{2{,}28}{72{,}5} = 314\ cm^2$$

$$S_a = 314\ cm^2$$

Havendo 23 pás com uma espessura à entrada de 1,5 mm temos a seguinte expressão para a secção

$$S_a = \frac{\pi (D^2_{1e} - D^2_{1i})}{4} - 23 \times s \times \frac{D_{1e} - D_{1i}}{2}$$

Sendo $D_{1i} = 9{,}5$ cm

vem

$$0{,}0314 = \frac{\pi (D^2_{1e} - 0{,}095^2)}{4} - 23 \times 0{,}0015 \times$$

$$\times \frac{D_{1e} - 0{,}095}{2}$$

donde vem

$$D_{1e} = 228\ mm$$

$$D_{1e} = 228\ mm$$

$$D_{1i} = 95\ mm$$

3 — *Cálculo dos triângulos de entrada* (fig. 2)

Velocidade periférica interior

Como $D_{1_i} = 95$ mm vem

$$U_{1_{int}} = \frac{\pi\ D_{1_i}\ n}{60}$$

$$= \frac{\pi \times 95 \times 11300}{60} = 56{,}2\ m/seg$$

Velocidade periférica média

Como $D_{1_m} = 161$ mm vem

$$U_{1_{méd}} = \frac{\pi\ D_{1_m}\ n}{60}$$

$$= \frac{\pi \times 161 \times 11300}{60} = 95\ m/seg$$